



UNIwersytet Opolski

Instytut Nauk Medycznych

PRACA DOKTORSKA

lek. Andrzej Bobiński

**Kompleksowa ocena pacjentów po operacyjnym
leczeniu stopy płasko koślawej
z użyciem implantu Spherus**

**Comprehensive assessment of patients after surgical
treatment of flat foot
using the Spherus implant**

**Praca napisana pod kierunkiem
Dr hab.n.med.Piotr Morasiewicz, prof. UO
OPOLE 2024r**

SPIS TREŚCI

SPIS TABEL I RYCIN	str.3
WYKAZ PUBLIKACJI WCHODZĄCYCH W SKŁAD DOKTORATU	str.4
1. Wstęp	str.5-6
2. Cele pracy	str.7
3. Materiał i metody	str.8-16
3.1 Kryteria włączania do badania	str.8
3.2 Kryteria wyłączenia z badania	str.9
3.3 Analiza statystyczna	str.10
4 . Podsumowanie wyników	str.17-24
5. Podsumowanie dyskusji	str.25-28
6. Wnioski	str.28
7. Piśmiennictwo dotyczące publikacji	str.29-38
Publikacja 1	str.29-31
Publikacja 2	str.32-34
Publikacja 3	str.35-38
8. Streszczenie w języku polskim	str.39-40
9. Abstract po angielsku	str.41-42
10. Publikacje jako załączniki	str.43-71

SPIS TABEL I RYCIN:

RYCINY:

- Rycina 1. Obrazy radiologiczne po korekcji stopy płasko-koślawej śrubą Spherus.
- Rycina 2. Obraz śródoperacyjny miejsca dostępu chirurgicznego w celu wprowadzenia śruby Spherus.
- Rycina 3. Zdjęcia radiograficzne po korekcji stopy płasko-koślawej śrubą Spherus.
- Rycina 4. G-sensor umieszczony na Pacjentce.
- Rycina 5. Przedoperacyjne i pooperacyjne wartości kąta Costa-Bartani.
- Rycina 6. Wyniki przed i pooperacyjne wartości punktacji w skali FFI-R.
- Rycina 7. Długość kroku po zabiegu operacyjnym w operowanej i nieoperowanej kończynie.
- Rycina 8. Prędkość chodu przed i po operacji.

TABELE:

- Tabela 1. Parametry radiologiczne przed i po leczeniu operacyjnym.
- Tabela 2. Szczegółowa ocena funkcjonalna pacjentów przed i po operacji.
- Tabela 3. Szczegółowy zakres ruchu pacjentów przed i po leczeniu.
- Tabela 4. Porównanie przedoperacyjnych parametrów chodu dla kończyny operowanej i nieoperowanej.
- Tabela 5. Pooperacyjna ocena parametrów chodu dla kończyny operowanej i nieoperowanej.
- Tabela 6. Wybrane parametry chodu przed i po operacji.
- Tabela 7. Szczegółowa analiza parametrów chodu przed i po zabiegu.

WYKAZ PUBLIKACJI WCHODZĄCYCH W SKŁAD DOKTORATU

I. **Bobiński A**, Tomczyk Ł, Reichert P, Morasiewicz P. Short-Term and Medium-Term Radiological and Clinical Assessment of Patients with Symptomatic Flexible Flatfoot Following Subtalar Arthroereisis with Spherus Screw. J Clin Med. 2023 Jul 31;12(15):5038.doi: 10.3390/jcm12155038. (IF 3.9, MNiSW 140 pkt)

II. **Bobiński A**, Tomczyk Ł, Pelc M, Chruścicki DA, Śnietka B, Morasiewicz P. Arthroereisis with a Talar Screw in Symptomatic Flexible Flatfoot in Children. J Clin Med. 2023 Dec 2;12(23):7475. doi: 10.3390/jcm12237475 (IF 3.9, MNiSW 140 pkt)

III. **Bobiński A**, Tomczyk Ł, Pelc M, Chruścicki D, Śnietka B, Wójcik J, Morasiewicz P. Gait analysis in patients with symptomatic pes planovalgus following subtalar arthroereisis with the talus screw. Indian J Orthop. 2024;58: 696–704. doi: 10.1007/s43465-024-01122-6 (IF 1.0, MNiSW 70 pkt)

1. WSTĘP

Stopa płasko-koślawą jest częstym problemem dla ortopedów [I/1-22; II/1-22; III/1-22,25,26]. Można wyróżnić postać bezobjawową, która występuje najczęściej oraz objawową. W zależności od ocenianej populacji szacunkową częstość występowania stopy płasko-koślawej waha się od 2,7% do 59% [I/1,5,6,14,15]. Przypadki bezobjawowe nie są wskazaniem do leczenia [II/1,2,5-10,12,13,16,18,19,20,22]. Postaci objawowej najczęściej towarzyszy ból w okolicy zatoki stępu i przyśrodkowej część stopy, bóle podudzia i stawu kolanowego, utykanie lub inne zaburzenia chodu, ograniczona wydolność wysiłkowa, co może wiązać się z problemami w codziennym użytkowaniu obuwia oraz w zajęciach sportowych [I/1,2,5-7,10,11,13-18; II/1-8,12,13,16,20,22; III/1,2,5-7,10,11,13-15,17-24]. Wskazaniem do leczenia jest stopa płasko-koślawą z towarzyszącym bólem, który występuje w około 2-14,2% wszystkich przypadków płaskostopia [I/1-7,10-12,14-22]. Brak leczenia objawowej stopy płasko-koślawej u dzieci i młodzieży może prowadzić do rozwoju różnych schorzeń układu mięśniowo-szkieletowego w wieku dorosłym; schorzenia te obejmują deformację palucha koślawego, nerwiaka Mortona oraz zmiany zwyrodnieniowe stopy i stawu skokowego [II/2,23].

Początkową metodą leczenia objawowej stopy płasko-koślawej jest leczenie zachowawcze kontynuowane przez 3-6 miesięcy, które obejmuje ograniczenie chodzenia, rehabilitację, wkładki do butów, redukcję masy ciała i stosowanie leków przeciwbólowych [II/1,2,5-8,12,13,18,19,22]. Jeżeli leczenie zachowawcze jest nieskuteczne, zaleca się leczenie chirurgiczne [II/1,2,4-8,12,13,18,19,20,22]. Znanych jest wiele technik leczenia chirurgicznego stosowanych w przypadkach objawowej stopy płasko-koślawej [I/1-22; II/1-22 ; III/1-24]. Należą do nich artroereza, osteotomia kości piętowej lub skokowej, artrodeza (stawu piętowo-sześciennego, podskokowa, skokowo-łódkowata), wydłużenie ścięgna Achillesa, wydłużenie mięśnia brzuchatego łydki, przeniesienie ścięgna [I/1-22; II/1-22 ; III/1-24].

Artroereza jest małoinwazyjną procedurą polegającą na czasowym zablokowaniu stawu skokowego dolnego poprzez umieszczenie ruchomego implantu do zatoki stępu, wszczepienie śruby piętowej lub wszczepienie małego klinowego przeszczepu kostnego pomiędzy kością skokową, a kością piętową [II/1-22]. Celem artroerezy jest ograniczenie pronacji stopy i odwiedzenia przodostopia, zapewnienie boczno-wsparcia stawu skokowego dolnego i zmniejszenie koślawości tylnej części stopy [I/2,5-10,12; II/1,2,3,5,13,22]. Wszczepienie implantu pomaga zwiększyć zarówno supinację, jak i przywiedzenie przodostopia [II/3,13]. Implanty stosowane w zabiegach artroerezy wpływają również na propriocepcję ze względu na ich mechaniczne działanie na liczne proprioceptory znajdujące się w zatoce stępu [II/1,2,3,13,22]. Najlepsze wyniki chirurgiczne odnotowano w przypadku zabiegów artroerezy wykonywanych u pacjentów w wieku 7-14 lat. Dzieje się tak dlatego, że

implanty wpływają na przebudowę wciąż rosnącej kości skokowej i piętowej oraz trójwymiarową strukturę stawu skokowego dolnego [II/2,4,5,6,8,10,12,13,21]. Ponieważ jest to procedura minimalnie inwazyjna, niedroga i niezasochłonna, powodująca niewiele powikłań, artroereza jest akceptowaną metodą leczenia objawowej stopy płasko-koślawej, zapewniającą wysoki poziom zadowolenia pacjentów z leczenia [II/1-9,19,22]. Niemniej jednak nie ma konsensusu co do techniki artroerezy w leczeniu objawowej stopy płasko-koślawej [II/1,2,4,5,7,8,10,12,13,20]. Niektórzy autorzy sugerują zastosowanie ruchomych implantów zatokowo-stępowych, umieszczonych swobodnie w zatoce stępu [II/6,7,9], niektórzy opowiadają się za wprowadzaniem śrub do kości piętowej [II/3,8,13,15,16,19], jeszcze inni podają porównywalne wyniki niezależnie od rodzaj zastosowanego implantu [II/1,2,12,18]. Celem zabiegu artroerezy jest zmniejszenie bólu i deformacji, poprawa chodu oraz zwiększenie aktywności fizycznej i sportowej [II/5,7,8,10,12; III/2,5-10,12,16,18-24]. Wcześniejsze badania oceniały wybrane parametry radiologiczne i czynnościowe po leczeniu chirurgicznym implantów wprowadzanych do kości piętowej [I/1,2,4,9,10,20,21], ruchomymi implantami umieszczanymi w zatoce stępu [I/5,8,14-16,19-21] czy przeszczepem kości strzałkowej wprowadzanym pomiędzy kością skokową a kością piętową [I/3]. Li i zespół, którzy ocenili 30 pacjentów przedstawili dobre wyniki kliniczne i radiologiczne po artroerezie w połączeniu z zabiegami na tkankach miękkich [I/17]. Vogta, który porównał trzy rodzaje implantów (dwa ruchome implanty zatoki stępu i jeden implant kości piętowej), podał porównywalne wyniki kliniczne i radiologiczne wszystkich trzech typów implantów [I/20]. Paolo i współpracownicy zaobserwowali większą poprawę ruchomości stopy po zastosowaniu endoortezy niż implantów umieszczanych w kości piętowej [I/21]. Systematyczny przegląd zabiegów artroerezy wykazał nieznacznie mniejszy odsetek powikłań i lepsze rezultaty przy zastosowaniu implantów kości piętowej w porównaniu z innymi typami implantów [I/22].

W leczeniu objawowej stopy płasko-koślawej istotnym aspektem jest wieloczynnikowa ocena wyników leczenia [I/1-5,7-10,14-19,22; III/2,7,11,12,14,18,19,22]. Do najważniejszych czynników należy ocena kliniczna, radiologiczna, funkcjonalna i biomechaniczna. Brak bólu oraz ograniczenia ruchu, prawidłowa siła mięśniowa wpływają na prawidłową biomechanikę kończyn dolnych i parametry chodu [III/2,18,19].

W dostępnym piśmiennictwie brak jest prac oceniających zastosowanie śruby wprowadzanej w kość skokową w leczeniu objawowej stopy płasko-koślawej. Nie było dotąd prac kompleksowo oceniających wpływ zastosowania implantu skokowego Spherus na wyniki kliniczne, funkcjonalne, radiologiczne oraz mechanizm chodu, w leczeniu objawowej stopy płasko-koślawej.

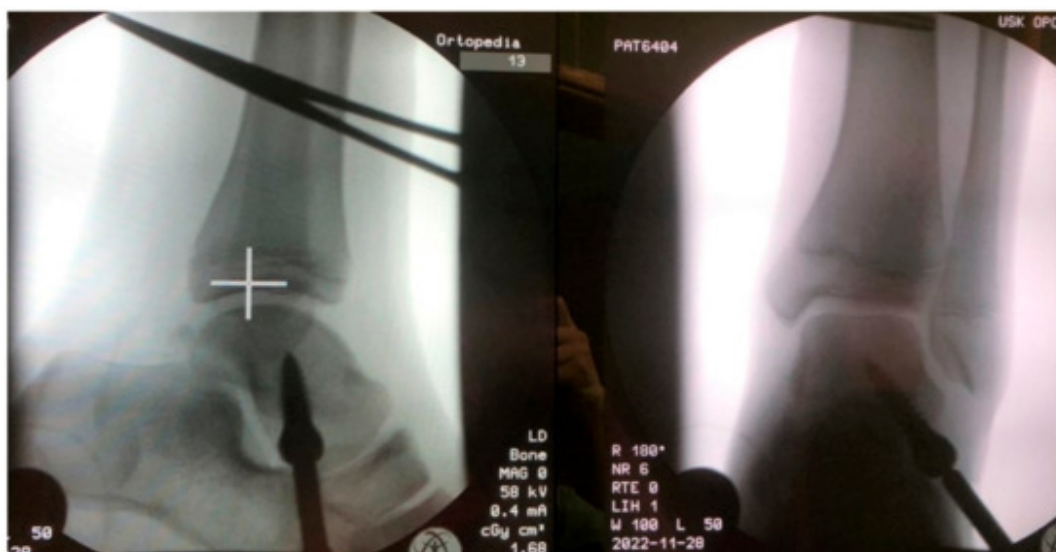
2. Założenia i cele pracy

1. Ocena kliniczna i funkcjonalna pacjentów przed i po operacji objawowej stopy płasko-koślawej z użyciem śruby Spherus.
2. Ocena radiologicznych wyników leczenia pacjentów z objawową stopą płasko-koślawą operowanych z użyciem śruby Spherus.
3. Prospektywna analiza chodu pacjentów przed i po leczeniu operacyjnym śrubą Spherus objawowej stopy płasko-koślawej.

3. Materiały i metody

Pierwsza publikacja

Badanie miało charakter prospektywny oraz było przeprowadzone w jednym ośrodku. Przeanalizowaliśmy pacjentów ze stopą płasko-koślawą, u których w latach 2021-2022 wykonano artroerezę śrubą skokową Spherus, rycina 1.



Rycina 1. Obrazy radiologiczne po korekcji stopy płasko-koślawej śrubą Spherus.

U wszystkich pacjentów wykonano badania fizykalne i radiologiczne. Stopę płasko-koślawą rozpoznano na podstawie następujących objawów klinicznych i radiologicznych: ból stopy, płaskostopie korektywne, kąt skokowo-piętowy (kąt Kite'a) > 40 stopni mierzony na radiogramie stopy w obciążeniu [1,2,3,5,19]. Wszyscy analizowani pacjenci zostali poddani wstępnemu leczeniu zachowawczemu w postaci rehabilitacji, wkładek do butów, ograniczenia chodzenia, stosowania niesteroidowych leków przeciwzapalnych i redukcji masy ciała w okresie 3–6 miesięcy [1,5,7,8,19].

Kryteriami włączenia do badania były wiek od 7 do 14 lat, objawowa elastyczna stopa płasko-koślawą, niepowodzenie leczenia zachowawczego, artroereza ze śrubą skokową Spherus (Gruppo Bioimpianti S.R.L., Mediolan, Włochy), okres obserwacji wynoszący co najmniej 14 miesięcy, świadoma zgoda, dostępna i pełna dokumentacja medyczna i radiologiczna, dostępna i kompletna dokumentacja ocen funkcjonalnych (kwestionariusze aktywności, punktacja bólu w wizualnej skali

analogowej [VAS], zakres ruchu stawu skokowego), brak historii urazów kończyn dolnych, brak synostoz w badaniu radiologicznym oraz brak współistniejących chorób neurologicznych. Kryteriami wykluczenia były wiek poniżej 7 lat i powyżej 14 lat, historia urazów kończyn dolnych, radiograficzne dowody na synostozę w obrębie stopy lub stawu skokowego, choroby neurologiczne, okres obserwacji krótszy niż 14 miesięcy, niekompletne badania lekarskie, radiograficzne lub zapisy oceny funkcjonalnej. Wszyscy pacjenci i ich opiekunowie prawni zostali poinformowani o dobrowolnym charakterze udziału. Badanie, które przeprowadzono zgodnie z Deklaracją Helsińską, uzyskało zgodę komisji etyki.

W latach 2021-2022 w naszej klinice wykonano 35 zabiegów artroerezy z użyciem śruby skokowej Spherus. Zastosowanie kryteriów włączenia i wyłączenia pozwoliło ostatecznie włączyć do badania 27 pacjentów (11 kobiet, 16 mężczyzn) w średnim wieku 10,5 roku (7–14 lat).

U pacjentów z zgięciem grzbietowym stopy ograniczonym do 5–10 stopni [I/13,14,18] wykonywano jednoczesowe wydłużanie ścięgna Achillesa (plastyka „Z”). Takich pacjentów było 10 (37%). Każdy zabieg wykonywał jeden z dwóch doświadczonych chirurgów ortopedów. Chorych operowano w pozycji leżącej, w warunkach niedokrwienia operowanej kończyny dolnej. Cięcie skórne o długości 1–2 cm wykonano dystalnie i nieco do przodu od wierzchołka kostki bocznej oraz w pobliżu zatoki stępu, rycina 2.



Rycina 2. Obraz śródoperacyjny miejsca dostępu chirurgicznego w celu wprowadzenia śruby Spherus.

W celu ustalenia odpowiedniego miejsca wprowadzenia implantu śródoperacyjnie wykonano zdjęcia rentgenowskie przednio-tylne (AP) i boczne. W zależności od wieku pacjenta, masy ciała, rozmiaru stopy i wcześniejszego doświadczenia operatora, średnica wybranej śruby wynosiła 6,5 mm lub 8 mm, a długość śruby wahała się od 25 mm do 40 mm. Gdy stopa pacjenta znajdowała się w maksymalnej supinacji, śrubę Spherus wprowadzono w dolną powierzchnię kości skokowej od strony zatoki stępu, monitorując jej położenie za pomocą śródoperacyjnych zdjęć rentgenowskich. W płaszczyźnie czołowej przebieg wprowadzonej śruby Spherus był ukośny i skierowany od boku do przyśrodka, natomiast w płaszczyźnie strzałkowej kierunek śruby pokrywał się z osią długą części dalszej kości strzałkowej. Bezpośrednio po zabiegu pacjentom pozwolono chodzić, obciążając operowaną stopę pełnym ciężarem; w przypadku dolegliwości bólowych zalecono stosowanie dwóch kul łokciowych przez okres do 14 dni po zabiegu. W przypadku współistniejącego wydłużenia ścięgna Achillesa kończynę unieruchomiono w gipsie stopowo-podudziowym na okres 6 tygodni. Sześć tygodni po operacji pacjenci mogli w pełni powrócić do aktywności fizycznej, w tym sportowej. Pacjenci byli kontrolowani radiologicznie w poradni ortopedycznej sześć tygodni po operacji, a następnie co trzy miesiące.

W ramach badania oceniano poziom aktywności fizycznej (w tym sportowej) w oparciu o 6-punktową skalę aktywności Uniwersytetu Kalifornijskiego w Los Angeles (UCLA) [I/24], 10-punktową skalę poziomu aktywności VAS [I/25] oraz 6-punktową skalę aktywności fizycznej Grimby'ego [I/26]. Ból oceniano w oparciu o 10-punktową skalę bólu VAS; funkcję stopy oceniano za pomocą skorygowanego wskaźnika funkcji stopy (FFI-R) [I/27]; a ruchomość stawu skokowego mierzono ręcznie za pomocą goniometru. Oceniano zgięcie grzbietowe, zgięcie podszwowe, przywodzenie i odwodzenie w stawie skokowym zarówno w kończynie operowanej, jak i nieoperowanej, a wyniki wyrażano w stopniach. Ocenę tę przeprowadzono zarówno przed operacją, jak i podczas długoterminowej wizyty kontrolnej.

Analiza statystyczna

W celu analizy statystycznej danych użyto programu Statistica 13.1. Do sprawdzenia normalności rozkładu wykorzystano test Shapiro–Wilka. Do porównania zmiennych statystycznych wykorzystano test Manna – Whitneya. Poziom znamienności statystycznej przyjęto na poziomie $p < 0,05$.

Druga publikacja

W pracy przeprowadzono prospektywną ocenę pacjentów leczonych operacyjnie z powodu objawowej stopy płasko-koślawej latach 2021–2022. Kryteriami włączenia do badania były: objawowa stopa płasko-koślawą, artroereza śrubą skokową Spherus (Gruppo Bioimpianti S.R.L., Mediolan, Włochy, rycina 3), wiek 7–14 lat, świadoma zgoda, pełna dokumentacja medyczna i radiologiczna oraz okres obserwacji wynoszący co najmniej 12 miesięcy.



Rycina 3. Zdjęcia radiograficzne po korekcji stopy płasko-koślawej śrubą Spherus.

Rozpoznanie objawowej elastycznej stopy płasko-koślawej zostało potwierdzone na podstawie wywiadu, badania klinicznego i obrazowania radiologicznego pacjenta. Wszyscy oceniani pacjenci byli poddani leczeniu zachowawczemu, obejmującemu rehabilitację i wkładki do obuwia. U wszystkich pacjentów wystąpiło podwichnięcie tylnej części stopy i zapadnięcie się przyśrodkowego łuku podłużnego, a także odczuwali oni ból stopy oraz mieli problemy z chodzeniem. Kryteriami wykluczenia z badania były inne patologie kończyn dolnych (takie jak porażenie mózgowe,

koalicja stępu, inne deformacje stóp lub choroba reumatoidalna stawów), historia operacji stopy, schorzenia neurologiczne, historia urazów stóp, niekompletna dokumentacja medyczna lub radiologiczna, brak zgody na badanie lub okres obserwacji krótszy niż 12 miesięcy. Badanie to zostało zatwierdzone przez lokalną komisję etyczną. Wszyscy pacjenci i ich opiekunowie prawni zostali poinformowani o dobrowolnym charakterze udziału w badaniu. W naszym ośrodku w latach 2021 i 2022 wykonano 35 zabiegów artroerezy z użyciem śruby skokowej Spherus.

Stosowanie kryteriów włączenia i wyłączenia w ramach tego badania objęło 27 pacjentów leczonych z powodu deformacji typu pes planovalgus. Grupę badaną stanowiło 16 mężczyzn i 11 kobiet w wieku 7–14 lat (średnia wieku 10,5 roku). Technika operacji, protokół rehabilitacyjny i schemat wizyt kontrolny był jednakowy dla pacjentów ocenianych w publikacji I-III oraz został opisany szczegółowo w akapicie dotyczącym publikacji I.

U 36,36% chorych wykonano jednoczesne wydłużenie ścięgna Achillesa (plastykę Z). Wskazaniem do wydłużenia ścięgna Achillesa było zgięcie grzbietowe mniejsze niż 5–10 stopni w pozycji neutralnej stopy [II/1,2,5,14,15]. Pełne obciążanie było dozwolone już pierwszego dnia po operacji. W przypadku współistniejącego wydłużenia ścięgna Achillesa kończynę unieruchomiono w gipsie stopowo-podudziowym na okres 6 tygodni. Pacjentom ograniczano wysiłek fizyczny i uprawianie sportu przez pierwsze 6 tygodni po operacji [II/7,11]. Protokół rehabilitacji był taki sam dla wszystkich pacjentów i rozpoczynał się albo 6 tygodni po operacji, albo pierwszego dnia po operacji u pacjentów, odpowiednio, z wydłużeniem ścięgna Achillesa i bez niego. Wszystkich pacjentów uczono chodzić o kulach; protokół rehabilitacji obejmował także ćwiczenia bierne i czynne stopy oraz stawu skokowego.

Wszyscy pacjenci zostali poddani badaniu klinicznemu i obrazowemu oraz wypełnili ankiety funkcjonalne. W badaniu oceniano następujące parametry: kąt Meary'ego, kąt Costa–Bartani, kąt nachylenia kości piętowej, czas trwania operacji, długość pobytu w szpitalu, satysfakcję pacjenta, ponowną chęć wyboru takiego samego leczenia przez pacjenta, powikłania pooperacyjne oraz przedoperacyjne i pooperacyjne stosowanie środków przeciwbólowych. Kąt Meary'ego, mierzono na RTG bocznym stopy, jest kątem pomiędzy linią poprowadzoną wzdłuż osi podłużnej kości skokowej (tj. osi środkowo-skokowej) a linią wzdłuż osi wzdłużnej pierwszej kości śródstopia (tj. pierwsza oś śródstopia) [II/4,7,15]. Kąt Costa-Bartani, mierzono na RTG bocznym stopy, to kąt pomiędzy liniami łączącymi trzy punkty: najniższy punkt trzyczekki przyśrodkowej, najniższy punkt guzowatości tylnej kości piętowej i najniższy punkt kości skokowej [II/4,7]. W celu oznaczenia kąta nachylenia kości piętowej poprowadzono linię od dolnego brzegu powierzchni stawowej dalszej kości piętowej do powierzchni podeszwowej kości piętowej. Kąt utworzony pomiędzy tą linią a płaszczyzną poprzeczną był kątem nachylenia kości piętowej [II/4,7,15]. Ocenę powikłań pooperacyjnych przeprowadzono na podstawie relacji pacjentów, przeglądu dokumentacji, badania klinicznego i badań obrazowych. Oceniano następujące powikłania: utrzymujący się ból, ograniczony zakres ruchu, obrzęk,

infekcję, opóźnione gojenie się ran, złamanie lub obluzowanie śruby, brak uzyskanej korekcji, hiperkorekcję (tj. stopa szpotawa) oraz konieczność reoperacji lub wcześniejszego usunięcia implantu. Czas trwania zabiegu mierzono w minutach. Długość pobytu w szpitalu mierzono w dniach. Stopień zadowolenia pacjentów z leczenia oceniano jako „bardzo zadowolony”, „zadowolony” lub „niezadowolony”. Oceniano, ilu pacjentów wybrałoby ponownie tę samą metodę leczenia oraz ilu pacjentów przyjmowało leki przeciwbólowe (paracetamol, NLPZ i tramadol) przed operacją i podczas ostatniej wizyty kontrolnej.

Analiza statystyczna

W celu analizy statystycznej danych użyto programu Statistica 13.1. Do sprawdzenia normalności rozkładu wykorzystano test Shapiro–Wilka. Do porównania zmiennych statystycznych wykorzystano test Manna – Whitneya. Poziomą znamienność statystycznej przyjęto na poziomie $p < 0,05$.

Trzecia publikacja

W pracy prospektywnie oceniono pacjentów leczonych operacyjnie z powodu objawowej stopy płasko-koślawej. U wszystkich chorych wykonano artroerezę po 6-12 miesiącach leczenia zachowawczego (rehabilitacja, ćwiczenia, NLPZ, wkładki do butów) jeśli nie przyniosło ono efektu. Kryteriami włączenia do badania były: objawowa stopa płasko-koślawą z bólem, niepowodzenie leczenia zachowawczego, wiek 7–14 lat w momencie operacji, artroereza ze śrubą Spherus (Gruppo Bioimpianti S.R.L., Mediolan, Włochy), pisemna zgoda, pełne badanie lekarskie i dokumentacja radiologiczna, pełne wyniki analizy chodu, okres obserwacji trwający ponad 14 miesięcy. Na podstawie wywiadu, badania klinicznego i radiologicznego potwierdzono objawową stopę płasko-koślawą. Kryteriami wykluczenia były dodatkowe patologie kończyn dolnych, przebyta operacja stopy, schorzenia neurologiczne, obecność synostozy, urazów stopy, niekompletna dokumentacja medyczna lub radiologiczna, brak pisemnej zgody oraz okres obserwacji krótszy niż 14 miesięcy. Badanie uzyskało zgodę lokalnej komisji bioetycznej i zostało przeprowadzone zgodnie z Deklaracją Helsińską. Wszyscy pacjenci oraz ich opiekunowie prawni zostali poinformowani o dobrowolności udziału w badaniu. W analizowanym okresie wykonano 24 zabiegi artroerezy przy użyciu śruby Spherus. Zastosowanie kryteriów włączenia i wyłączenia wyłoniło 22 pacjentów ze stopą płasko-koślawą. Grupę badaną stanowiło 8 kobiet i 14 mężczyzn w wieku 7–14 lat. Technika operacji, protokół rehabilitacyjny i schemat wizyt kontrolny był jednakowy dla pacjentów ocenianych w publikacji I-III oraz został opisany szczegółowo w akapicie dotyczącym publikacji I.

U ośmiu pacjentów w ramach zabiegu skojarzonego wykonano wydłużenie ścięgna Achillesa (plastyka Z). Wskazaniem do wydłużenia ścięgna Achillesa było zgięcie grzbietowe mniejsze niż 5–10 stopni w pozycji neutralnej stopy [III/1,2,5,14,15,18]. Po operacji można było w pełni obciążać operowaną kończynę już pierwszego dnia po operacji, pod warunkiem braku dolegliwości bólowych. Jeżeli podczas chodzenia występował ból, pacjent stosował kule łokciowe przez 5–14 dni. W przypadku równoczesowego wydłużania ścięgna Achillesa kończynę unieruchomiono w gipsie stopowo-podudziowym na okres 6 tygodni. Przez 6 tygodni po operacji pacjentom odradzano wysiłek fizyczny i uprawianie sportu [III/7,11]. Jednolity protokół rehabilitacji dla wszystkich pacjentów rozpoczynano w pierwszej dobie po operacji, u pacjentów bez wydłużenia ścięgna Achillesa oraz 6 tygodni po operacji w grupie pacjentów ze współistniejącym wydłużeniem ścięgna Achillesa.

Pacjenci byli poddawani ocenie chodu za pomocą urządzeń G-Sensor (rycina 4) przed operacją i po minimum 14 miesiącach po operacji. G-Sensor to system bezprzewodowy z czujnikiem inercyjnym umieszczonym na ciele pacjenta.



Rycina 4. G-sensor umieszczony na Pacjencie.

System składa się z trójosiowego akcelerometru, czujnika magnetycznego, trójosiowego żyroskopu oraz oprogramowania G-studio umożliwiającego analizę danych uzyskanych z czujnika w czasie rzeczywistym. G-Sensor służy do obiektywnej, dokładnej i powtarzalnej oceny parametrów chodu [III/27-29]. G-Sensor nadaje się do oceny chodu i aktywności fizycznej, na co wskazuje współczynnik zmienności 2,5% oraz analizy współczynnika korelacji od 0,90 do 0,99 [III/32-34]. Uzyskane dane, ilustrujące wszystkie fazy cyklu chodu, pozwalają obiektywnie ocenić chód pacjenta i wykryć ewentualne odchylenia od prawidłowych parametrów chodu [III/27-29].

W tym badaniu oceniano następujące parametry chodu:

- czas trwania cyklu chodu (s)
- długość kroku (%)
- czas trwania fazy podporu (%)
- czas trwania fazy wymachu (%)
- czas trwania fazy podwójnego podporu (%)
- czas trwania fazy pojedynczego podporu (%)
- kadencja (kroki/min)
- prędkość (m/s)
- długość kroku (m)

G-Sensor umieszczano pacjentom na poziomie krążka międzykręgowego L4–L5, na specjalnym pasie, rycina 4. Pacjenci chodzili boso z normalną prędkością na dystansie 5 metrów, pokonując trasę tam i z powrotem. Wszyscy pacjenci byli oceniani w tym samym pomieszczeniu, przy użyciu tego samego urządzenia. Dane zebrane z urządzenia zostały przetworzone za pomocą oprogramowania G-studio (BTS Bioengineering, Quincy, MA, USA); eksportowane do arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel i analizowane. Porównano dane przed i pooperacyjne oraz dane dotyczące stopy operowanej i nieoperowanej.

Analiza statystyczna

Dane analizowano statystycznie za pomocą programu Statistica 13.1. Do sprawdzenia normalności rozkładu wykorzystano test Shapiro–Wilka. Do porównania zmiennych ilościowych wykorzystano test t-Studenta. Poziom istotności statystycznej przyjęto na poziomie $p < 0,05$.

4. Podsumowanie wyników

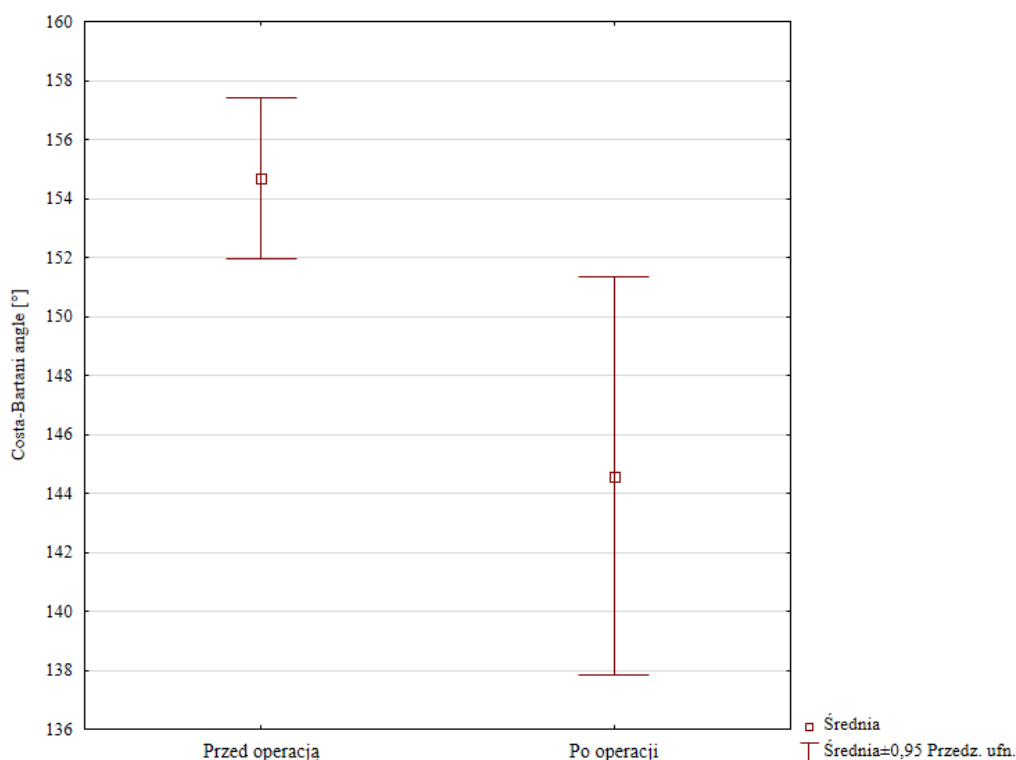
W pierwszej publikacji średni okres obserwacji wyniósł 14,76 miesiąca (od 12 do 26 miesięcy). Kąt Meary'ego zmniejszył się z $18,63^{\circ}$ przed operacją do $9,39^{\circ}$ podczas ostatniej wizyty kontrolnej. Różnica ta była istotna statystycznie ($p = 0,004$), tabela 1.

Tabela 1. Parametry radiologiczne przed i po leczeniu operacyjnym

Wartość	Przed zabiegiem	Po zabiegu	Wartość p
	Średnia $\pm$ Odchylenie Standardowe		
Kąt Mearyego (stopnie)	18.63 ± 7.71	9.39 ± 6.85	0.004 *
Kąt Costa–Bartani (stopnie)	154.66 ± 5.98	144.58 ± 14.83	0.012 **
Calcaneal pitch (stopnie)	16.21 ± 4.41	19.74 ± 7.33	0.275 **

* Test t studenta; ** Test U Mann–Whitney.

Kąt Costa-Bartani zmniejszył się istotnie z $154,66^{\circ}$ przed operacją do $144,58^{\circ}$ po operacji, tabela 1 i rycina 5, ($p = 0,012$).



Rycina 5. Przedoperacyjne i pooperacyjne wartości kąta Costa-Bartani.

Kąt nachylenia kości piętowej zmienił się z $16,21^{\circ}$ przed operacją do $19,74^{\circ}$ po operacji, różnica ta nie była istotna, tabela 1.

Powikłania odnotowano u trzech pacjentów (11,11%). W każdym z trzech przypadków powikłaniem był ból operowanej stopy, który leczono rehabilitacją, wkładkami do butów oraz okładami z lodu. U żadnego z pacjentów nie wystąpiło ograniczenie zakresu ruchu, obrzęk, infekcja, opóźnione gojenie się ran, złamanie lub poluzowanie śruby, hiperkorekcja (szpotawość stopy), konieczność reoperacji, konieczność wcześniejszego usunięcia śruby lub jakiegokolwiek inne komplikacje. Średni czas trwania operacji wyniósł 32 min (SD 8,65). Średni pobyt w szpitalu trwał 2,2 dnia (SD 0,41).

Bardzo zadowolonych z leczenia było 14 pacjentów (51,85%), zadowolonych z leczenia było 12 pacjentów (44,44%), natomiast niezadowolony z leczenia był 1 pacjent (3,7%).

Dwudziestu pięciu (92,59%) ocenianych pacjentów wybrałoby ponownie ten sam rodzaj leczenia.

Sześciu pacjentów (22,22%) wymagało stosowania leków przeciwbólowych przed leczeniem operacyjnym, natomiast żaden z pacjentów nie musiał ich stosować w końcowej kontroli.

Szczegółowe wyniki oceny aktywności fizycznej, funkcjonowania i zakresu ruchu, pacjentów ocenianych w drugiej publikacji, przedstawiono w tabeli 2 i 3. Zaobserwowano istotną statystycznie poprawę wyników w skali aktywności UCLA ze średniego wyniku 4,78 przed operacją, do średniego wyniku 6,05 w odległej obserwacji, $p = 0,045$, tabela 2.

Tabela 2. Szczegółowa ocena funkcjonalna pacjentów przed i po operacji.

Analizowana wartość	Przed Leczeniem	Po leczeniu	Wartość p *
(Średnia ± Odchylenie Standardowe)			
Skala UCLA	4.78 ± 2.25	6.05 ± 1.61	0.045
Skala Gimbry	3.26 ± 1.59	3.94 ± 1.17	0.14
Skala Aktywności VAS	5.47 ± 2.89	7 ± 2.05	0.048
Skala Bólu VAS	4.73 ± 3.51	2.73 ± 3.28	0.047
Skala FFI-R	140 ± 61.28	97.75 ± 28.53	0.017
Zgięcie grzbietowe OL [st]	22 ± 8.44	25.33 ± 6.77	0.316
Zgięcie podaszowe OL [st]	30.7 ± 9.21	32.91 ± 11.22	0.623
Przywiedzenie OL [st]	21.9 ± 9.74	23.5 ± 7.46	0.667
Odwiedzenie OL [st]	18.6 ± 9.92	17.83 ± 6.72	0.831
Zgięcie grzbietowe NOL [st]	36.25 ± 8.53	29 ± 13.41	0.381
Zgięcie podaszowe NOL [st]	37 ± 14.58	49 ± 19.49	0.342
Przywiedzenie NOL [st]	28.5 ± 6.24	25 ± 3.53	0.32
Odwiedzenie NOL [st]	28.5 ± 12.61	22 ± 10.36	0.422

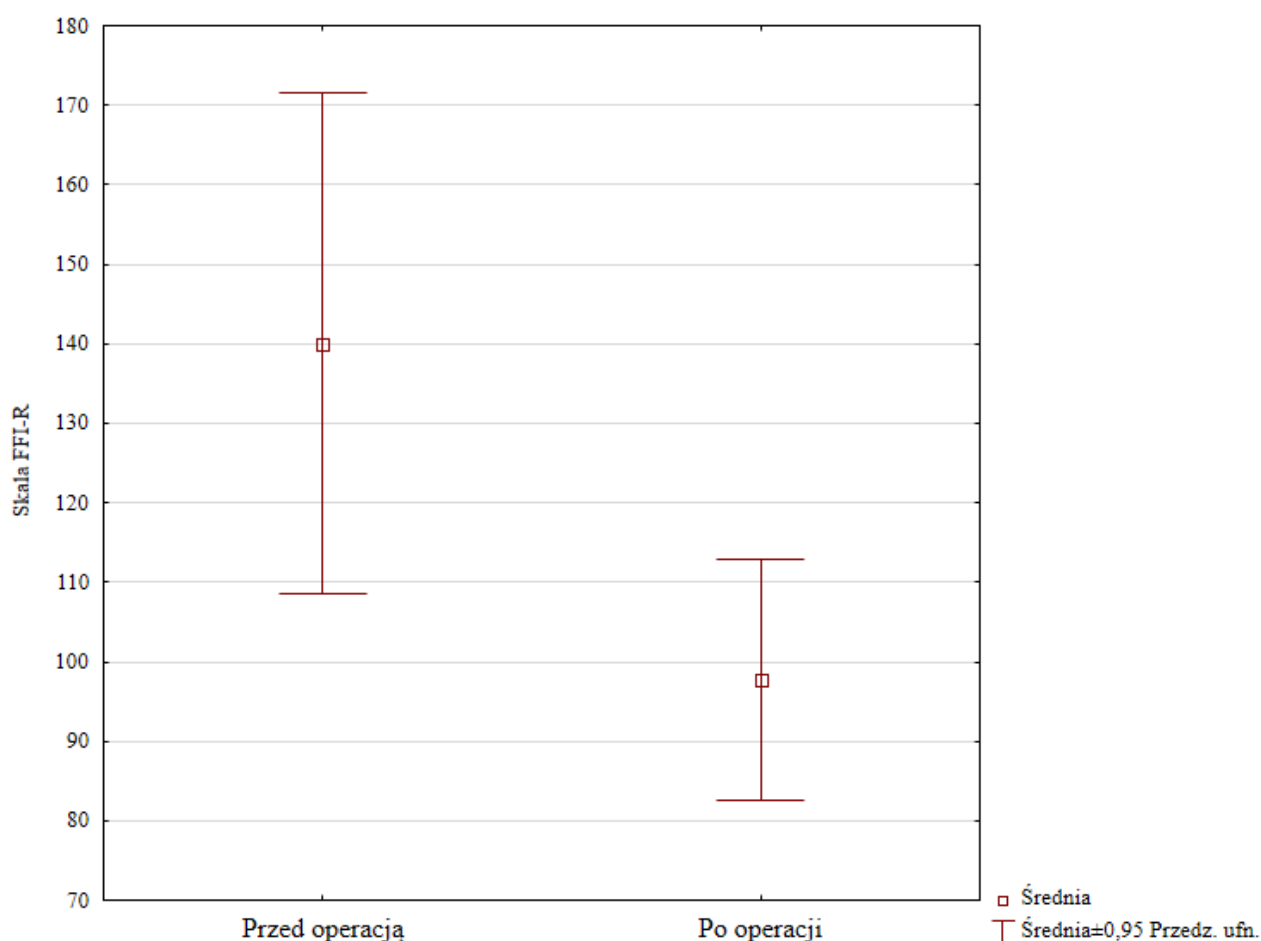
* Test U Mann–Whitney; OL—kończyna operowana, NOL—kończyna nie operowana.

Tabela 3. Szczegółowy zakres ruchu pacjentów przed i po leczeniu.

Analizowana wartość	(Średnia ± Odchylenie Standardowe)		Wartość p
	przed leczeniem		
	OL	NOL	
Zgięcie grzbietowe [st]	22 ± 8.44	36.25 ± 8.53	0.047
Zgięcie podaszowe [st]	30.7 ± 9.21	37 ± 14.58	0.343
odwiedzenie [st]	18.6 ± 9.92	28.5 ± 12.61	0.142
przywiedzenie [st]	21.9 ± 9.74	28.5 ± 6.24	0.238
	po leczeniu		
	OL	NOL	
Zgięcie grzbietowe [st]	25.33 ± 6.77	29 ± 13.41	0.457
Zgięcie podaszowe [st]	32.91 ± 11.22	49 ± 19.49	0.086
odwiedzenie [st]	17.83 ± 6.72	22 ± 10.36	0.335
przywiedzenie [st]	23.5 ± 7.46	25 ± 3.53	0.677

OL—kończyna operowana, NOL—kończyna nie operowana.

Wyniki aktywności Grimby'ego wykazały wzrost aktywności fizycznej z 3,26 przed leczeniem do 3,94 w długoterminowej obserwacji, jednakże różnica nie była istotna statystycznie, tabela 2. Nastąpiła znacząca poprawa w wynikach aktywności fizycznej w skali aktywności VAS ze średniego wyniku przedoperacyjnego wynoszącego 5,47 do 7 w okresie obserwacji, $p = 0,048$, tabela 2. Poziom bólu również wykazał poprawę, zmniejszając się w porównaniu ze średnim wynikiem VAS wynoszącym 4,73 przed operacją do średniego wyniku 2,73 w okresie obserwacji, różnica była istotna statystycznie, $p = 0,047$, tabela 2. Wyniki funkcjonalne oceniane w skali FFI-R również wykazały istotną poprawę ze średniego wyniku wynoszącego 140 punktów przed operacją do 97,75 punktów w kontroli odległej, $p = 0,017$, tabela 2, rycina 6.



Rycina 6. Wyniki przed i pooperacyjne wartości punktacji w skali FFI-R.

Zgięcie grzbietowe stawu skokowego wzrosło, choć nieistotnie, ze średnio 22° przed operacją do średnio $25,33^{\circ}$ w czasie obserwacji, tabela 3. Porównanie przedoperacyjnych i kontrolnych wartości zakresu zgięcia podszwowego, przywiedzenia i odwiedzenia stawu skokowego operowanej kończyny również nie wykazało istotnych zmian w zakresie poszczególnych parametrów, tabela 3. Co ważne, średnie wartości zgięcia grzbietowego, zgięcia podszwowego, przywiedzenia i odwiedzenia stawu skokowego w badaniu kontrolnym, porównane indywidualnie pomiędzy stopą operowaną i nieoperowaną, nie wykazały różnic istotnych statystycznie, tabela 3.

W trzeciej pracy średni okres obserwacji wynosił 15,5 miesiąca (od 14 do 18 miesięcy).

Porównanie przedoperacyjnych parametrów chodu dla kończyny operowanej i nieoperowanej nie wykazało żadnych różnic pod względem czasu trwania cyklu chodu, długości kroku, czasu trwania fazy podporu, czasu trwania fazy wymachu, czasu trwania fazy podwójnego podporu oraz czasu trwania fazy pojedynczego podporu, tabela 4.

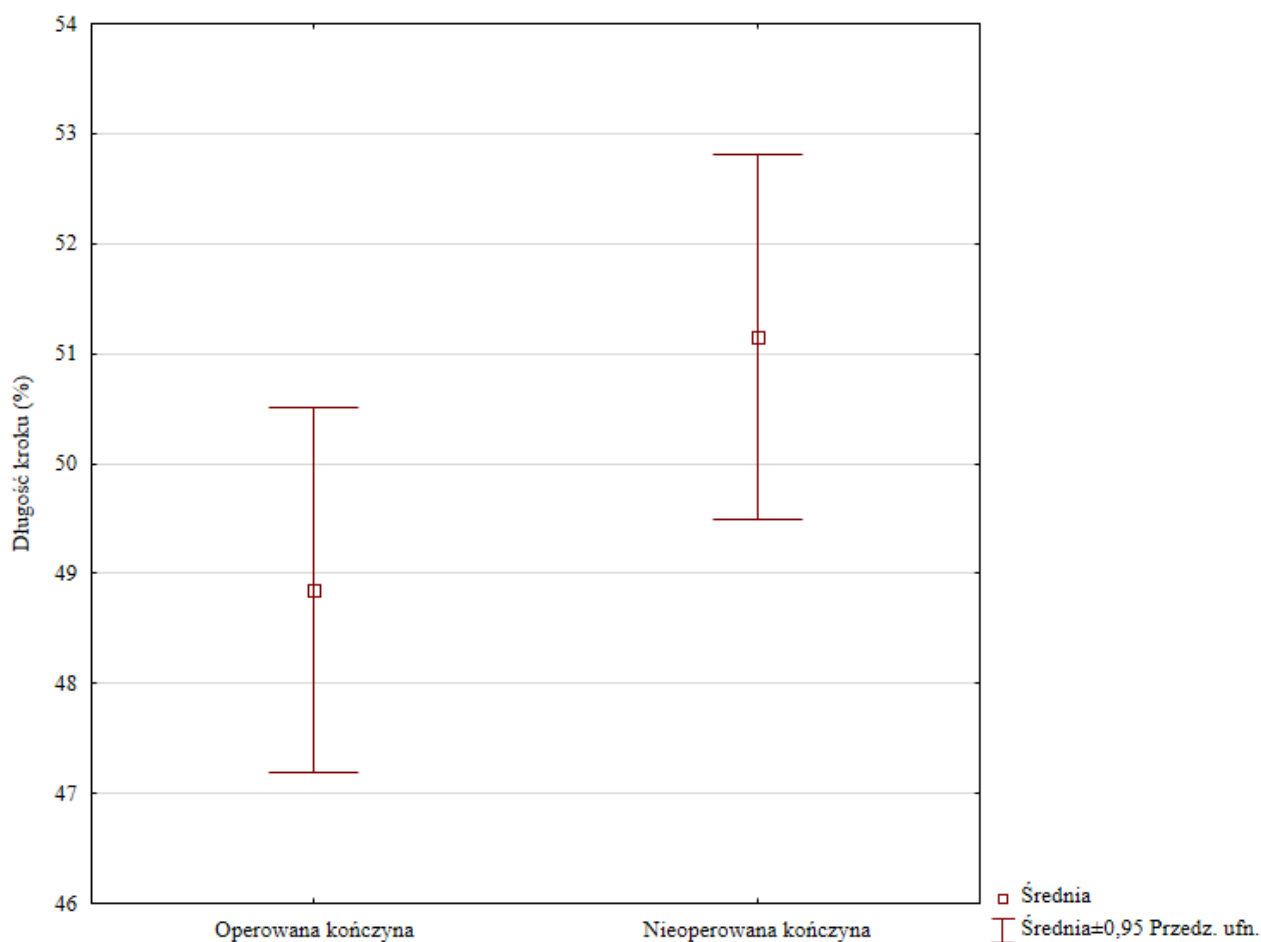
Tabela 4. Porównanie przedoperacyjnych parametrów chodu dla kończyny operowanej (OL) i nieoperowanej (NOL).

Analizowany parametr	OL	NOL	wartość p
	Średnia ± Odchylenie Standardowe	Średnia ± Odchylenie Standardowe	
Czas trwania cyklu chodu (s)	1.54 ± 0.23	1.54 ± 0.27	0.957
Długość kroku (%)	49.07 ± 4.91	51.58 ± 4.08	0.114
Długość Fazy Podporu (%)	58.45 ± 6.97	59.67 ± 5.38	0.57
Długość Fazy przeniesienia(%)	41.54 ± 6.97	40.31 ± 5.37	0.568
Czas trwania podwójnego podporu(%)	9.47 ± 3.14	9.69 ± 2.62	0.868
Czas trwania pojedynczego podporu (%)	39.49 ± 5.57	41.41 ± 7.42	0.401
Ilość analizowanych kroków	10.23 ± 1.21	10.11 ± 1.26	0.783

Pooperacyjna ocena parametrów chodu dla kończyny operowanej i nieoperowanej różniła się tylko długością kroku ($p = 0,047$), tabela 5, rycina 7.

Tabela 5. Pooperacyjna ocena parametrów chodu dla kończyny operowanej (OL) i nieoperowanej (NOL).

Analizowany parametr	OL	NOL	wartość p
	Średnia ± Odchylenie Standardowe	Średnia ± Odchylenie Standardowe	
długość cyklu chodu (s)	1.24 ± 0.24	1.21 ± 0.21	0.749
długość Kroku (%)	48.84 ± 3.74	51.15 ± 3.74	0.047
Długość fazy podporu (%)	55.58 ± 11.66	59.08 ± 3.85	0.188
Długość Fazy przeniesienia(%)	42.11 ± 3.15	40.91 ± 3.85	0.27
Długość podwójnego podporu (%)	9.25 ± 2.81	8.25 ± 2.21	0.194
Długość pojedynczego podporu (%)	40.61 ± 4.24	41.53 ± 2.69	0.388
Ilość Analizowanych kroków	10.45 ± 1.89	10.59 ± 1.84	0.810



Rycina 7. Długość kroku po zabiegu operacyjnym w operowanej i nieoperowanej kończynie.

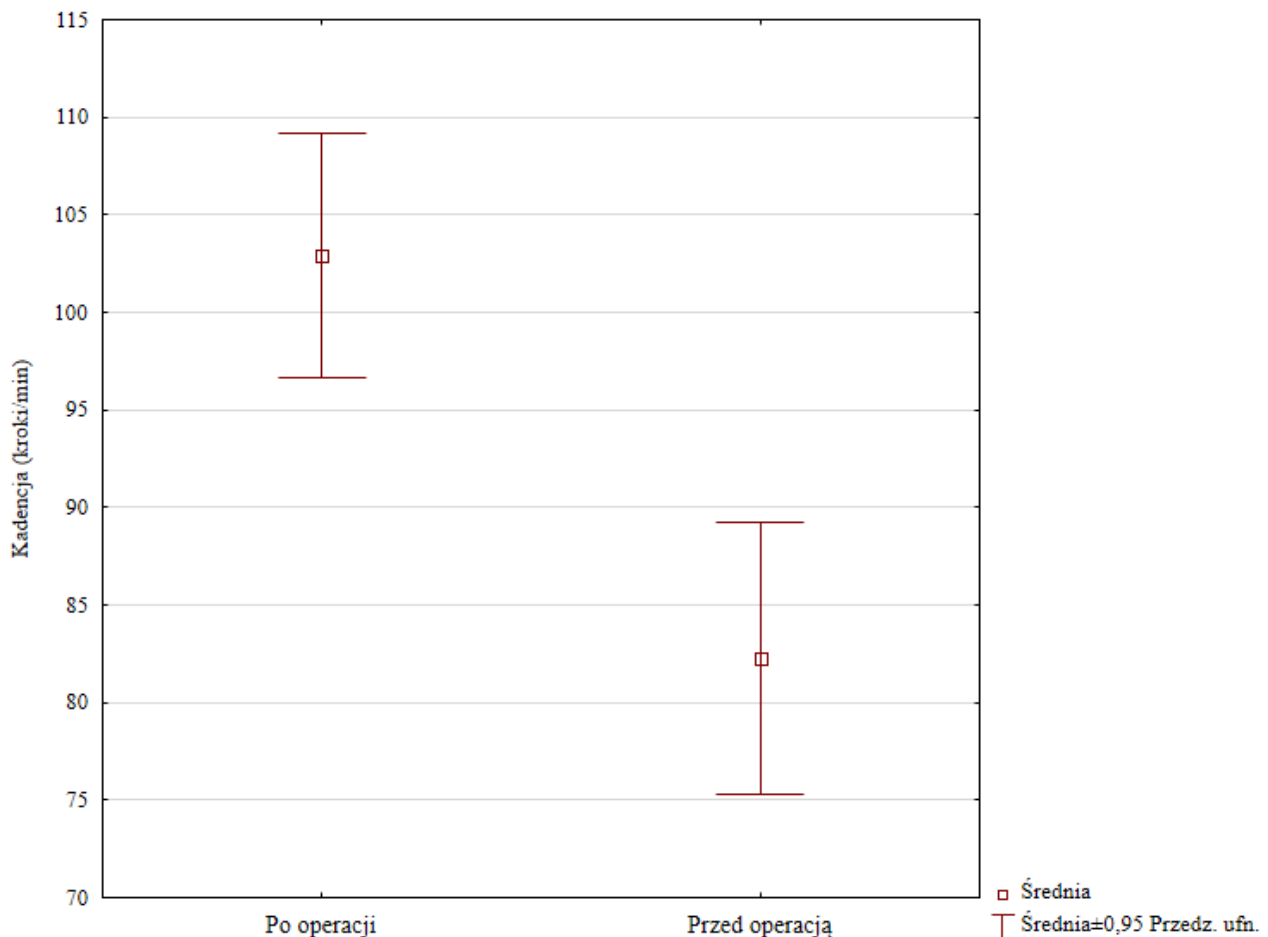
Tabela 6. Wybrane parametry chodu przed i po operacji.

Analizowany parametr	Przed zabiegiem Średnia ± Odchylenie Standardowe	Po Zabiegu	wartość p
Kadencja (kroki/min)	82.29 ± 13.59	102.94 ± 14.09	< 0.001
Prędkość (m/s)	0.81 ± 0.21	0.96 ± 0.24	0.046
Długość kroku (m)	0.63 ± 0.14	0.57 ± 0.11	0.185
Czas badania (s)	48.72 ± 10.51	39.29 ± 9.51	0.005

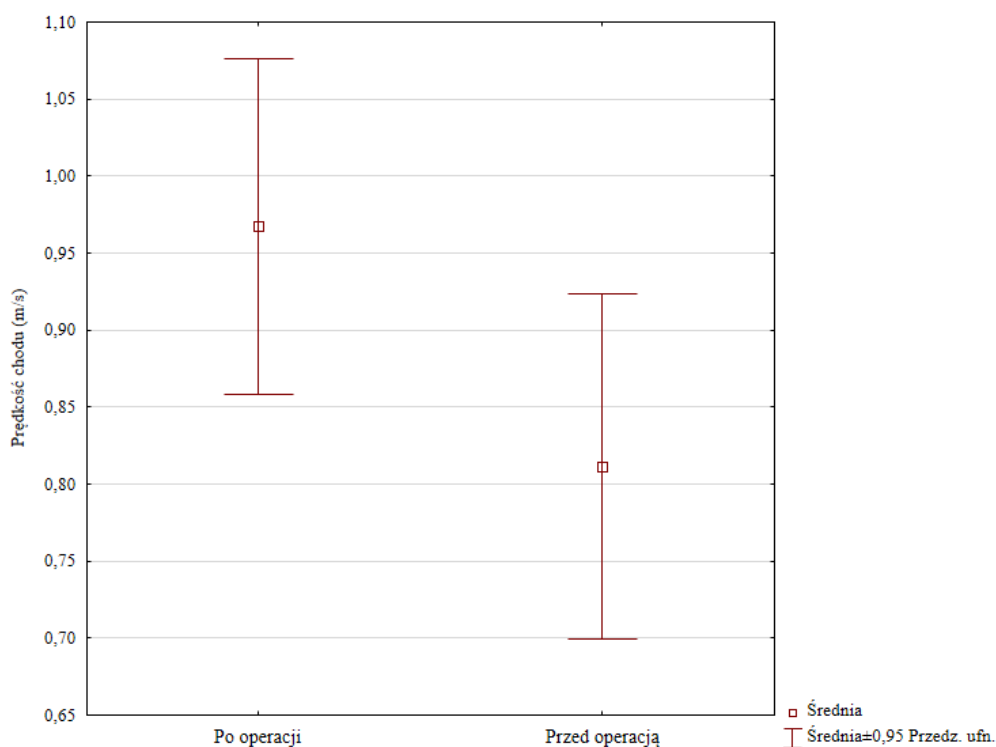
Nie zaobserwowano żadnych różnic w czasie trwania cyklu chodu, czasie trwania fazy podporu, czasie trwania fazy wymachu, czasie trwania fazy podwójnego podporu oraz czasie trwania fazy pojedynczego podporu, tabela 5.

Kadencja wzrosła w porównaniu ze średnią przedoperacyjną wynoszącą 82,29 kroków/min do średniej pooperacyjnej wynoszącej 102,94 kroków/min, $p < 0,001$, tabela 6, rycina 7.

Rycina 7. Kadencja przed i po operacji.



Odnotowano znaczący wzrost prędkości chodu z 0,81 m/s przed zabiegiem do 0,96 m/s po zabiegu, $p = 0,046$), tabela 6, rycina 8. Długość kroku nie uległa zmianie, tabela 6.



Rycina 8.
Prędkość
chodu
przed i
po
operacji.

Zaobserwowano znaczne zmniejszenie czasu trwania cyklu chodu w kończynie operowanej z 1,54 s przed operacją do średniej wartości 1,24 s po operacji, $p < 0,001$, tabela 7.

Tabela 7. Szczegółowa analiza parametrów chodu przed (NOL) i po zabiegu (OL).

Analizowana wartość	Przed zabiegiem Średnia $\pm$ Odchylenie Standardowe	Po zabiegu	wartość p
Czas trwania cyklu chodu OL (s)	1.54 $\pm$ 0.23	1.24 $\pm$ 0.24	< 0.001
Długość kroku OL (%)	49.07 $\pm$ 4.91	48.84 $\pm$ 3.74	0.873
Długość fazy podporu OL (%)	58.45 $\pm$ 6.97	55.58 $\pm$ 11.66	0.375
Długość fazy przeniesienia OL (%)	41.54 $\pm$ 6.97	42.11 $\pm$ 3.15	0.741
Długość podwójnego podporu OL (%)	9.47 $\pm$ 4.14	9.25 $\pm$ 2.81	0.845
Długość pojedynczego podporu OL (%)	39.49 $\pm$ 5.57	40.61 $\pm$ 4.24	0.486
ilość analizowanych kroków OL	10.23 $\pm$ 1.21	10.45 $\pm$ 1.89	0.679
Czas trwania cyklu chodu NOL (s)	1.54 $\pm$ 0.27	1.21 $\pm$ 0.21	< 0.001
Długość kroku NOL (%)	59.67 $\pm$ 5.38	59.08 $\pm$ 3.85	0.689
Długość fazy podporu NOL (%)	40.31 $\pm$ 5.37	40.91 $\pm$ 3.85	0.686
Długość fazy przeniesienia NOL (%)	9.69 $\pm$ 3.62	8.25 $\pm$ 2.22	0.131
Długość podwójnego podporu NOL (%)	41.41 $\pm$ 7.42	41.53 $\pm$ 2.69	0.941
Długość pojedynczego podporu NOL (%)	51.58 $\pm$ 4.08	51.15 $\pm$ 3.74	0.734
Ilość analizowanych kroków NOL	10.11 $\pm$ 1.28	10.59 $\pm$ 1.84	0.371

Czasy trwania cyklu chodu przed i pooperacyjnym różniły się dla kończyny nieoperowanej, $p < 0,001$, tabela 7. W porównaniu średnich wartości przed operacją i po operacji, pozostałe oceniane parametry chodu nie wykazały istotności statystycznej, tabela 7.

5. Podsumowanie dyskusji

Głównym celem leczenia operacyjnego stopy płasko-koślawej jest zmniejszenie dolegliwości bólowych oraz poprawa wydolności chodu. Wśród ortopedów nie ma jednomyślności w wyborze metody leczenia operacyjnego objawowej stopy płasko-koślawej [II/1,2,4,5,7,8,10,12,13,20]. Najlepsze wyniki leczenia objawowej stopy płasko-koślawej zaobserwowano u pacjentów w wieku 7–14 lat [II/2,4,5,6,8,10,12,13,21].

Brak odpowiedniego napięcia tkanek miękkich i wiotkość więzadeł i mięśni może skutkować nieprawidłową konfiguracją przestrzenną stopy i rozwojem objawowej stopy płasko-koślawej u dzieci. Zniekształcenie określane jako stopa płasko-koślawą obejmuje pronację i odwiedzenie przodostopia wynikające z nadmiernej pronacji stawu podskokowego, koślawość tyłostopia, obniżony łuk podłużny stopy oraz przykurcz ścięgna Achillesa; wszystkie te patologie potencjalnie negatywnie wpływające na biomechanikę chodu [III/7, 12–15, 17, 18]. Pomiary antropometryczne, izokinetyczne i kinematyczne pomagają w precyzyjnym różnicowaniu między stopą normalną a stopą płaską [III/7]. Analiza parametrów biomechanicznych i chodu stanowi istotny składnik oceny wyników korekcji deformacji stopy [III/2,7,11,12,14,18–20,22,27–31]. W odróżnieniu od innych implantów przeznaczonych do chirurgicznej korekcji stopy płasko-koślawej, śruba Spherus ma być wprowadzona do kości skokowej. Zaletą umieszczenia tej śruby w kości skokowej jest wsparcie dla jej podstawy oraz duża powierzchnia kontaktu ze stopą i ścianami zatoki stępu. Śruba Spherus stabilizuje kość skokową, rozkładając ciężar ciała na większą powierzchnię, jednocześnie zmniejszając ryzyko migracji śruby do kości skokowej i jej penetracji do kości piętowej.

Implanty stosowane w artroerezie mechanicznie ograniczają pronację stopy i poprawiają propriocepcję, co pomaga uzyskać korekcję deformacji płasko-koślawej [II/1–3,5]. Wpływ na propriocepcję powoduje zmiany w interakcji pomiędzy mięśniami i więzadłami [II/1–3,12,13].

Wydaje się, że zastosowanie śruby skokowej Spherus ma kilka zalet w porównaniu z technikami z użyciem śrub wprowadzanych w kość piętową lub wolnych implantów wprowadzanych do zatoki stępu. Po pierwsze, ryzyko obluzowania lub migracji śruby Spherus jest mniejsze. W naszym badaniu nie stwierdzono przypadków obluzowania się śruby Spherus lub migracji, podczas gdy inni autorzy donoszą o takich powikłaniach w przypadku śrub wprowadzanych w kość piętową (wskaźnik obluzowania lub migracji 1,72%) [I/3] i wolnych implantów do zatoki stępu (współczynnik migracji 3,2% do 23%) [I/5,15]. Przyczyną braku obluzowania lub migracji śruby Spherus może być kilka czynników, którymi są, po pierwsze, specjalny stożkowy kształt śruby, po drugie, względny duża średnica śruby (w porównaniu ze średnicami śrub piętowych) oraz po trzecie, duża średnica gwintu ułatwiająca wprowadzenie śruby do kości gąbczastej; te cechy konstrukcyjne śruby Spherus zapewniają jej większą powierzchnię styku do kości i jej lepszą stabilność wewnątrz kości w porównaniu ze śrubami piętowymi. Ponadto może wiązać się to z wprowadzeniem śruby do kości skokowej zamiast do kości piętowej, co powoduje mniejsze działanie siła na śrubę podczas pełnego obciążenia.

W porównaniu z osteotomią i artrodezą, artroereza wymaga krótszego okresu unieruchomienia i krótszego okresu obciążenia, co może skutkować mniejszym ograniczeniem zakresu ruchu i lepszymi parametrami chodu [III/2]. Wyniki mojego badania wskazują na poprawę ocenionych parametrów chodu, co może wskazywać na znormalizowaną anatomię stopy, zwiększony zakres ruchu i zmniejszone dolegliwości bólowe po leczeniu stopy płasko-koślawej za pomocą śruby do kości skokowej. Grupa pacjentów ocenianych w moim badaniu wykazała wzrost prędkości chodu i wartości kadencji po zabiegu w porównaniu z odpowiednimi wartościami przedoperacyjnymi. Odnotowałem również skrócenie czasu cyklu chodu na kończynie operowanej w porównaniu z wartością przedoperacyjną. Wyniki te wskazują na pozytywny efekt leczenia na biomechanikę kończyny dolnej.

Jednym z celów leczenia stopy płasko-koślawej objawowej jest poprawa chodu oraz parametrów klinicznych i funkcjonalnych. W moim badaniu zaobserwowałem

poprawę parametrów chodu po umieszczeniu śruby w kości skokowej, co wskazuje na dobre wyniki leczenia.

Oceniana grupa pacjentów wykazała się znaczną pooperacyjną poprawą poziomu aktywności fizycznej zarówno w skali VAS oraz wyników skali aktywności UCLA, co wskazuje na dobre wyniki leczenia. Wzrost aktywności fizycznej i sportowej po operacji w mojej grupie badanej może być spowodowana zmniejszeniem dolegliwości bólowych i zmniejszenie deformacji [II/5,13].

Głównym celem artroerezy jest zmniejszenie bólu [II/5,7,8,10,12,13]. W moim badaniu zaobserwowałem znaczną redukcję bólu pooperacyjnego. Ból po artroerezie może wiązać się z wyborem niewłaściwego rozmiaru implantu [II/4,12]. W ocenianej grupie badanej 22,22% pacjentów stosowało przed operacją leki przeciwbólowe; jednakże żaden pacjent nie potrzebował leków przeciwbólowych po operacji, co świadczy o dobrym wyniku leczenia i zmniejszenie nasilenia bólu po leczeniu.

Artroereza umożliwia szybkie obciążanie kończyny oraz powrót do aktywności fizycznej.

Badania pokazują również brak istotnych różnic między zakresem ruchu w stawie skokowym po zabiegu w porównaniu z przedoperacyjnymi wartościami, co świadczy o dobrych wynikach po leczeniu stopy płasko-koślawej z zastosowaniem śruby skokowej Spherus. W przeciwieństwie do zabiegów osteotomii klinowej i artrodezy, artroereza jest odwracalną metodą leczenia, która pomaga zachować pewien zakres ruchu w stawie podskokowym [II/1]. Z drugiej strony implanty zatoki stępu mogą powodować przykurcze mięśni strzałkowych u 3–10% pacjentów [II/1].

Zastosowanie śruby implantowanej do kości skokowej pozwala na wykonanie w przyszłości innych operacji stopy lub stawu skokowego. Procedury wydłużania lub przenoszenia ścięgien, osteotomii lub artrodezy można wykonywać bez ograniczeń.

6. Wnioski

1. Zastosowanie śruby Spherus w leczeniu objawowej stopy płasko-koślawej wykazało zmniejszenie bólu, poprawę poziomu aktywności fizycznej i sportowej oraz brak wpływu na zakres ruchu po zabiegu w porównaniu z danymi przedoperacyjnymi.
2. Zastosowanie śruby Spherus wpływa na poprawę parametrów radiologicznych u pacjentów ze stopą płasko koślawą po operacji oraz daje mało powikłań.
3. Artroereza ze śrubą skokową Spherus pomaga poprawić parametry chodu po zabiegu. Po operacji zaobserwowano zwiększoną szybkość chodu oraz kadencję. Krótkoterminowe wyniki biomechaniczne leczenia objawowej stopy płasko-koślawej śrubą skokową są dobre.

7 Piśmiennictwo dotyczące publikacji

7.1 Publikacja I

1. Vogt, B.; Toporowski, G.; Gosheger, G.; Rölfig, J.D.; Rosenbaum, D.; Schiedel, F.; Laufer, A.; Kleine-Koenig, M.T.; Theil, C.; Roedl, R.; et al. Subtalar Arthroereisis for Flexible Flatfoot in Children—Clinical, Radiographic and Pedobarographic Outcome Comparing Three Different Methods. *Children* 2021, 8, 359.
2. Faldini, C.; Mazzotti, A.; Panciera, A.; Perna, F.; Stefanini, N.; Giannini, S. Bioabsorbable implants for subtalar arthroereisis in pediatric flatfoot. *Musculoskelet. Surg.* 2018, 102, 11–19.
3. Kubo, H.; Lipp, C.; Hufeland, M.; Ruppert, M.; Westhoff, B.; Krauspe, R.; Pilge, H. Outcome after subtalar screw arthroereisis in children with flexible flatfoot depends on time of treatment: Midterm results of 95 cases. *J. Orthop. Sci.* 2020, 25, 497–502.
4. Vescio, A.; Testa, G.; Amico, M.; Lizzio, C.; Sapienza, M.; Pavone, P.; Pavone, V. Arthroereisis in juvenile flexible flatfoot: Which device should we implant? A systematic review of literature published in the last 5 years. *World J. Orthop.* 2021, 12, 433–444.
5. Martinelli, N.; Bianchi, A.; Martinkevich, P.; Sartorelli, E.; Romeo, G.; Bonifacini, C.; Malerba, F. Return to sport activities after subtalar arthroereisis for correction of pediatric flexible flatfoot. *J. Pediatr. Orthop. B* 2018, 27, 82–87.
6. Ruiz-Picazo, D.; Jiménez-Ortega, P.; Doñate-Pérez, F.; Gaspar-Aparicio, N.; García-Martín, V.; Ramírez-Villaescusa, J.; Losa-Palacios, S. Radiographic and Functional Results following Subtalar Arthroereisis in Pediatric Flexible Flatfoot. *Adv. Orthop.* 2019, 2019, 5061934.
7. Hong, J.; Dai, G.; Weng, Q.; Liu, Y. Interference Screw for the Treatment of Pediatric Flexible Flatfoot. *J. Foot Ankle Surg.* 2020, 59, 1209–1214.
8. Elmarghany, M.; El-Ghaffar, T.M.A.; Elgeushy, A.; Elzahed, E.; Hasanin, Y.; Knörr, J. Is subtalar extra articular screw arthroereisis (SESA) reducing pain and restoring medial longitudinal arch in children with flexible flat foot? *J. Orthop.* 2020, 20, 147–153.
9. Elbarbary, H.M.; Arafa, A.S.; Said, A.B.Z.; Hegaz, M.; Reiad, M.W.; Basha, N.Y.; Fahmy, M. Clinical and Radiological Outcomes of Subtalar Arthroereisis for

Management of Planovalgus Foot in Children With Cerebral Palsy: 3-Year Follow-up. *Foot Ankle Spec.* 2022, 15, 536–544.

10. Tan, J.H.I.; Tan, S.H.S.; Lim, A.K.S.; Hui, J.H. The outcomes of subtalar arthroereisis in pes planus: A systemic review and meta-analysis. *Arch. Orthop. Trauma. Surg.* 2021, 141, 761–773.

11. Franz, A.; Herz, D.; Raabe, J.; Seeberger, U.; Bollmann, C. Pedobarographic outcome after subtalar screw arthroereisis in flexible juvenile flatfoot. *Foot Ankle Surg.* 2021, 27, 389–394.

12. Memeo, A.; Verdoni, F.; Rossi, L.; Ferrari, E.; Panuccio, E.; Pedretti, L. Flexible Juvenile Flat Foot Surgical Correction: A Comparison Between Two Techniques After Ten Years' Experience. *J. Foot Ankle Surg.* 2019, 58, 203–207.

13. Fernández de Retana, P.; Alvarez, F.; Viladot, R. Subtalar arthroereisis in pediatric flatfoot reconstruction. *Foot Ankle Clin.* 2010, 15, 323–335.

14. Wang, S.; Chen, L.; Yu, J.; Zhang, C.; Huang, J.-Z.; Wang, X.; Ma, X. Mid-term Results of Subtalar Arthroereisis with Talar-Fit Implant in Pediatric Flexible Flatfoot and Identifying the Effects of Adjunctive Procedures and Risk Factors for Sinus Tarsi Pain. *Orthop. Surg.* 2021, 13, 175–184.

15. Arbab, D.; Frank, D.; Bouillon, B.; Lüring, C.; Wingenfeld, C.; Abbbara-Czardybon, M. Subtalare Screw Arthroereisis for the Treatment of Symptomatic, Flexible Pes Planovalgus. *Z. Orthop. Unfall.* 2018, 156, 93–99.

16. Jerosch, J.; Schunck, J.; Abdel-Aziz, H. The stop screw technique—A simple and reliable method in treating flexible flatfoot in children. *Foot Ankle Surg.* 2009, 15, 174–178.

17. Leonchuk, S.S.; Dyachkov, K.; Neretin, A.S.; Blanchard, A.J.; Popkov, D. Subtalar arthroereisis for treatment of children with flexible planovalgus foot deformity and analysis of CT data in long-term period. *J. Orthop.* 2020, 22, 478–484.

18. de Bot, R.T.A.L.; Stevens, J.; Hermus, J.P.S.; Staal, H.M.; van Rhijn, L.W.; Witlox, A.M. Clinical and Radiological Outcomes of Subtalar Kalix II Arthroereisis for a Symptomatic Pediatric Flexible Flatfoot. *Foot Ankle Spec.* 2021, 14, 9–18.

19. Hagen, L.; Pape, J.P.; Kostakev, M.; Peterlein, C.D. Pedobarographic changes during first month after subtalar extra-articular screw arthroereisis (SESA) operation of juvenile flexible flatfoot. *Arch. Orthop. Trauma. Surg.* 2020, 140, 313–320.
20. Bernasconi, A.; Lintz, F.; Sadile, F. The role of arthroereisis of the subtalar joint for flatfoot in children and adults. *EFORT Open Rev.* 2017, 2, 438–446.
21. De Pellegrin, M. Subtalar screw-arthroereisis for correction of flat foot in children. *Orthopade* 2005, 34, 941–953.
22. Bobiński, A.; Tomczyk, Ł.; Reichert, P.; Morasiewicz, P. Short-Term and Medium-Term Radiological and Clinical Assessment of Patients with Symptomatic Flexible Flatfoot Following Subtalar Arthroereisis with Spherus Screw. *J. Clin. Med.* 2023, 12, 5038.
23. Polichetti, C.; Borruto, M.I.; Lauriero, F.; Caravelli, S.; Mosca, M.; Maccauro, G.; Greco, T.; Perisano, C. Adult Acquired Flatfoot Deformity: A Narrative Review about Imaging Findings. *Diagnostics* 2023, 13, 225.

7.2 Publikacja II

1. Jerosch, J.; Schunck, J.; Abdel-Aziz, H. The stop screw technique—A simple and reliable method in treating flexible flatfoot in children. *Foot Ankle Surg.* 2009, 15, 174–178.
2. Kubo, H.; Lipp, C.; Hufeland, M.; Ruppert, M.; Westhoff, B.; Krauspe, R.; Pilge, H. Outcome after subtalar screw arthroereisis in children with flexible flatfoot depends on time of treatment: Midterm results of 95 cases. *J. Orthop. Sci.* 2020, 25, 497–502.
3. Leonchuk, S.S.; Dyachkov, K.; Neretin, A.S.; Blanchard, A.J.; Popkov, D. Subtalar arthroereisis for treatment of children with flexible planovalgus foot deformity and analysis of CT data in long-term period. *J. Orthop.* 2020, 22, 478–484.
4. Arbab, D.; Frank, D.; Bouillon, B.; Lüring, C.; Wingenfeld, C.; Abbbara-Czardybon, M. Subtalare Screw Arthroereisis for the Treatment of Symptomatic, Flexible Pes Planovalgus. *Z. Orthop. Unfall.* 2017, 156, 93–99.
5. De Bot, R.T.A.L.; Stevens, J.; Hermus, J.P.S.; Staal, H.M.; van Rhijn, L.W.; Witlox, A.M. Clinical and Radiological Outcomes of Subtalar Kalix II Arthroereisis for a Symptomatic Pediatric Flexible Flatfoot. *Foot Ankle Spéc.* 2021, 14, 9–18.
6. Bernasconi, A.; Lintz, F.; Sadile, F. The role of arthroereisis of the subtalar joint for flatfoot in children and adults. *EFORT Open Rev.* 2017, 2, 438–446.
7. Faldini, C.; Mazzotti, A.; Panciera, A.; Perna, F.; Stefanini, N.; Giannini, S. Bioabsorbable implants for subtalar arthroereisis in pediatric flatfoot. *Musculoskelet. Surg.* 2018, 102, 11–19.
8. Hong, J.; Dai, G.; Weng, Q.; Liu, Y. Interference Screw for the Treatment of Pediatric Flexible Flatfoot. *J. Foot Ankle Surg.* 2020, 59, 1209–1214.
9. Elmarghany, M.; El-Ghaffar, T.M.A.; Elgeushy, A.; Elzahed, E.; Hasanin, Y.; Knörr, J. Is subtalar extra articular screw arthroereisis (SESA) reducing pain and restoring medial longitudinal arch in children with flexible flat foot? *J. Orthop.* 2020, 20, 147–153.
10. Elbarbary, H.M.; Arafa, A.S.; Said, A.B.Z.; Hegazy, M.; Reiad, M.W.; Basha, N.Y.; Fahmy, M. Clinical and Radiological Outcomes of Subtalar Arthroereisis for Management of Planovalgus Foot in Children with Cerebral Palsy: 3-Year Follow-up. *Foot Ankle Spéc.* 2020, 15, 536–544.

11. Hagen, L.; Pape, J.P.; Kostakev, M.; Peterlein, C.-D. Pedobarographic changes during first month after subtalar extra-articular screw arthroereisis (SESA) operation of juvenile flexible flatfoot. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2020, 140, 313–320.
12. Franz, A.; Herz, D.; Raabe, J.; Seeberger, U.; Bollmann, C. Pedobarographic outcome after subtalar screw arthroereisis in flexible juvenile flatfoot. *Foot Ankle Surg.* 2021, 27, 389–394.
13. Martinelli, N.; Bianchi, A.; Martinkevich, P.; Sartorelli, E.; Romeo, G.; Bonifacini, C.; Malerba, F. Return to sport activities after subtalar arthroereisis for correction of pediatric flexible flatfoot. *J. Pediatr. Orthop. B* 2018, 27, 82–87.
14. De Retana, P.F.; Álvarez, F.; Viladot, R. Subtalar Arthroereisis in Pediatric Flatfoot Reconstruction. *Foot Ankle Clin.* 2010, 15, 323–335.
15. Wang, S.; Chen, L.; Yu, J.; Zhang, C.; Huang, J.; Wang, X.; Ma, X. Mid-term Results of Subtalar Arthroereisis with Talar-Fit Implant in Pediatric Flexible Flatfoot and Identifying the Effects of Adjunctive Procedures and Risk Factors for Sinus Tarsi Pain. *Orthop. Surg.* 2021, 13, 175–184.
16. Ruiz-Picazo, D.; Jiménez-Ortega, P.; Doñate-Pérez, F.; Gaspar-Aparicio, N.; García-Martín, V.; Ramírez-Villaescusa, J.; Losa-Palacios, S. Radiographic and Functional Results following Subtalar Arthroereisis in Pediatric Flexible Flatfoot. *Adv. Orthop.* 2019, 2019, 5061934.
17. Li, B.; He, W.; Yu, G.; Zhou, H.; Xia, J.; Zhao, Y.; Zhu, H.; Yu, T.; Yang, Y. Treatment for Flexible Flatfoot in Children with Subtalar Arthroereisis and Soft Tissue Procedures. *Front. Pediatr.* 2021, 9, 656178.
18. Metcalfe, S.A.; Bowling, F.L.; Reeves, N.D. Subtalar Joint Arthroereisis in the Management of Pediatric Flexible Flatfoot: A Critical Review of the Literature. *Foot Ankle Int.* 2011, 32, 1127–1139.
19. Shi, C.; Li, M.; Zeng, Q.; Wen, X.; Tian, F.; Li, Y. Subtalar arthroereisis combined with medial soft tissue reconstruction in treating pediatric flexible flatfoot with accessory navicular. *J. Orthop. Surg. Res.* 2023, 18, 55.
20. Vogt, B.; Toporowski, G.; Gosheger, G.; Rölfig, J.D.; Rosenbaum, D.; Schiedel, F.; Laufer, A.; Kleine-Koenig, M.-T.; Theil, C.; Roedl, R.; et al. Subtalar Arthroereisis for Flexible Flatfoot in Children—Clinical, Radiographic and Pedobarographic Outcome Comparing Three Different Methods. *Children* 2021, 8, 359.

21. Caravaggi, P.; Lullini, G.; Berti, L.; Giannini, S.; Leardini, A. Functional evaluation of bilateral subtalar arthroereisis for the correction of flexible flatfoot in children: 1-year follow-up. *Gait Posture* 2018, 64, 152–158.
22. Vescio, A.; Testa, G.; Amico, M.; Lizzio, C.; Sapienza, M.; Pavone, P.; Pavone, V. Arthroereisis in juvenile flexible flatfoot: Which device should we implant? A systematic review of literature published in the last 5 years. *World J. Orthop.* 2021, 12, 433–444.
23. Polichetti, C.; Borruto, M.I.; Lauriero, F.; Caravelli, S.; Mosca, M.; Maccauro, G.; Greco, T.; Perisano, C. Adult Acquired Flatfoot Deformity: A Narrative Review about Imaging Findings. *Diagnostics* 2023, 13, 225.
24. Mattesi, L.; Ancelin, D.; Severyns, M.P. Is subtalar arthroereisis a good procedure in adult-acquired flatfoot? A systematic review of the literature. *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* 2021, 107, 103002

7.3 Publikacja III

1. Jerosch, J., Schunck, J., & Abdel-Aziz, H. (2009). The stop screw technique—a simple and reliable method in treating flexible flatfoot in children. *Foot and Ankle Surgery*, 15(4), 174–178.
2. Kubo, H., Lipp, C., Hufeland, M., Ruppert, M., Westhoff, B., Krauspe, R., & Pilge, H. (2020). Outcome after subtalar screw arthroereisis in children with flexible flatfoot depends on time of treatment: Midterm results of 95 cases. *Journal of Orthopaedic Science*, 25(3), 497–502.
3. Leonchuk, S. S., Dyachkov, K., Neretin, A. S., Blanchard, A. J., & Popkov, D. (2020). Subtalar arthroereisis for treatment of children with flexible planovalgus foot deformity and analysis of CT data in long-term period. *Journal of Orthopaedics*, 8(22), 478–484.
4. Arbab, D., Frank, D., Bouillon, B., Lüring, C., Wingenfeld, C., & Abbbara-Czardybon, M. (2018). Subtalare screw arthroereisis for the treatment of symptomatic. Flexible Pes Planovalgus. *Z Orthop Unfall*, 156(1), 93–99.
5. Robin de Bot, T. A. L., Stevens, J., Hermus, J. P., Staal, H. M., van Rhijn, L. W., & Witlox, A. M. (2021). Clinical and radiological outcomes of subtalar Kalix II arthroereisis for a symptomatic pediatric flexible flatfoot. *Foot & Ankle Specialist*, 14(1), 9–18.
6. Bernasconi, A., Lintz, F., & Sadile, F. (2017). The role of arthroereisis of the subtalar joint for flatfoot in children and adults. *EFORT Open Reviews*, 2(11), 438–446.
7. Faldini, C., Mazzotti, A., Panciera, A., Perna, F., Stefanini, N., & Giannini, S. (2018). Bioabsorbable implants for subtalar arthroereisis in pediatric flatfoot. *Musculoskeletal Surgery*, 102(1), 11–19.
8. Hong, J., Dai, G., Weng, Q., & Liu, Y. (2020). Interference screw for the treatment of pediatric flexible flatfoot. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 59(6), 1209–1214.

9. Elmarghany, M., El-Ghaffar, T. M. A., Elgeushy, A., Elzahed, E., Hasanin, Y., & Knörr, J. (2020). Is subtalar extra articular screw arthroereisis (SESA) reducing pain and restoring medial longitudinal arch in children with flexible flat foot? *Journal of Orthopaedics.*, 20, 147–153.
10. Elbarbary, H. M., Arafa, A. S., Said, A. B. Z., Hegaz, M., Reiad, M. W., Basha, N. Y., & Fahmy, M. (2022). Clinical and radiological outcomes of subtalar arthroereisis for management of plano-valgus foot in children with cerebral palsy: 3-year follow-up. *Foot & Ankle Specialist*, 15(6), 536–544.
11. Hagen, L., Pape, J. P., Kostakev, M., & Peterlein, C. D. (2020). Pedobarographic changes during first month after subtalar extraarticular screw arthroereisis (SESA) operation of juvenile flexible flatfoot. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 140(3), 313–320.
12. Franz, A., Herz, D., Raabe, J., Seeberger, U., & Bollmann, C. (2021). Pedobarographic outcome after subtalar screw arthroereisis in flexible juvenile flatfoot. *Foot and Ankle Surgery*, 27(4), 389–394.
13. Martinelli, N., Bianchi, A., Martinkevich, P., Sartorelli, E., Romeo, G., Bonifacini, C., & Malerba, F. (2018). Return to sport activities after subtalar arthroereisis for correction of pediatric flexible flatfoot. *Journal of Pediatric Orthopedics. Part B*, 27(1), 82–87.
14. Fernández de Retana, P., Alvarez, F., & Viladot, R. (2010). Subtalar arthroereisis in pediatric flatfoot reconstruction. *Foot and Ankle Clinics.*, 15(2), 323–335.
15. Wang, S., Chen, Li., Jian, Yu., Zhang, C., Jia-Zhang Huang, Xu., & Wang, X. M. (2021). Mid-term results of subtalar arthroereisis with talar-fit implant in pediatric flexible flatfoot and identifying the effects of adjunctive procedures and risk factors for sinus tarsi pain. *Orthopaedic Surgery*, 13(1), 175–184.
16. Tan, J. H. I., Tan, S. H. S., Lim, A. K. S., & Hui, J. H. (2021). The outcomes of subtalar arthroereisis in pes planus: a systemic review and meta-analysis. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 141(5), 761–773.
17. Ruiz-Picazo, D., Jiménez-Ortega, P., Doñate-Pérez, F., Gaspar-Aparicio, N., García-Martín, V., Ramírez-Villaescusa, J., & Losa-Palacios, S. (2019). Radiographic and functional results following

subtalar arthroereisis in pediatric flexible flatfoot. *Advances in Indian Journal of Orthopaedics*
Orthopedics, 1(2019), 5061934.

18. Memeo, A., Verdoni, F., Rossi, L., Ferrari, E., Panuccio, E., & Pedretti, L. (2019). Flexible juvenile flat foot surgical correction: A comparison between two techniques after ten years' experience. *Journal of Foot and Ankle Surgery*, 58(2), 203–207.

19. Vogt, B., Toporowski, G., Gosheger, G., Rölting, J. D., Rosenbaum, D., Schiedel, F., Laufer, A., Kleine-Koenig, M. T., Theil, C., Roedl, R., & Frommer, A. (2021). Subtalar arthroereisis for flexible flatfoot in children-clinical, radiographic and pedobarographic outcome comparing three different methods. *Children (Basel)*, 8(5), 359.

20. Smith, C., Zaidi, R., Bhamra, J., Bridgens, A., Wek, C., & Kokkinakis, M. (2021). Subtalar arthroereisis for the treatment of the symptomatic paediatric flexible pes planus: A systematic review. *EFORT Open Rev.*, 6(2), 118–129.

21. De Pellegrin, M. (2005). Subtalar screw-arthroereisis for correction of flat foot in children. *Der Orthopäde*, 34(9), 941–953.

22. Vescio, A., Testa, G., Amico, M., Lizzio, C., Sapienza, M., Pavone, P., & Pavone, V. (2021). Arthroereisis in juvenile flexible flatfoot: Which device should we implant? A systematic review of literature published in the last 5 years. *World Journal of Orthopedics*, 12(6), 433–444.

23. Mattesi, L., Ancelin, D., & Severyns, M. P. (2021). Is subtalar arthroereisis a good procedure in adult-acquired flatfoot? A systematic review of the literature. *Orthopaedics & Traumatology, Surgery & Research*, 107(6), 103002.

24. Baryeh, K. W., Ismail, H., Sobti, A., & Harb, Z. (2022). Outcomes following the use of subtalar arthroereisis in the correction of adult acquired flatfoot: A systematic review. *Foot & Ankle Specialist*, 15(4), 384–393.

25. Bobiński, A., Tomczyk, Ł., Reichert, P., & Morasiewicz, P. (2023). Short-term and medium-term radiological and clinical assessment of patients with symptomatic flexible flatfoot following subtalar arthroereisis with Spherus screw. *Journal of Clinical Medicine*, 12(15), 5038.

26. Bobiński, A., Tomczyk, Ł, Pelc, M., Chruścicki, D. A., Śnietka, B., & Morasiewicz, P. (2023). Arthroereisis with a talar screw in symptomatic flexible flatfoot in children. *Journal of Clinical Medicine*, 12(23), 7475.
27. Gieysztor, E., Kowal, M., & Paprocka-Borowicz, M. (2021). Gait parameters in healthy preschool and school children assessed using wireless inertial sensor. *Sensors (Basel)*, 21(19), 6423.
28. Gieysztor, E., Kowal, M., & Paprocka-Borowicz, M. (2022). Primitive reflex factors influence walking gait in young children: An observational study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), 4070.
29. Gieysztor, E., Pecuch, A., Kowal, M., Borowicz, W., & Paprocka-Borowicz, M. (2020). Pelvic symmetry is influenced by asymmetrical tonic neck reflex during young children's gait. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), 4759.
30. Morasiewicz, P., & Dragan, S. F. (2013). Pedobarographic evaluation of body weight distribution on the lower limbs and balance after derotation corticotomies using the Ilizarov method. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 15(2), 91–96.
31. Morasiewicz, P., Konieczny, G., Dejneka, M., Morasiewicz, L., Urbański, W., Kulej, M., Dragan, S. Ł, Dragan, S. F., & Pawik, Ł. (2018). Pedobarographic analysis of body weight distribution on the lower limbs and balance after ankle arthrodesis with Ilizarov fixation and internal fixation. *Biomedical Engineering Online*, 17(1), 174.
32. Blythe, S. G. (2014). INPP screening test for signs of neuromotor immaturity in adults. In S. G. Blythe (Ed.), *Neuromotor immaturity in children and adults* (pp. 83–110). Wiley.
33. Del Din, S., Godfrey, A., & Rochester, L. (2016). Validation of an accelerometer to quantify a comprehensive battery of gait characteristics in healthy older adults and Parkinson's disease: Toward clinical and at home use. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 20, 838–847.
34. Sankarpandi, S. K., Baldwin, A. J., Ray, J., & Mazzà, C. (2017). Reliability of inertial sensors in the assessment of patients with vestibular disorders: A feasibility study. *BMC Ear, Nose Throat Disord.*, 17, 1.

8. Streszczenie w języku polskim

Stopa płasko-koślawą jest częstym problemem w ortopedii, występującym zarówno w formie bezobjawowej, jak i objawowej. Częstość jej występowania jest różna i w zależności od badanej populacji może wynosić od 2,7% do 59%. Brak leczenia objawowej stopy płasko-koślawej może prowadzić do poważnych problemów w przyszłości, takich jak chód z utykaniem, ból i deformacje stopy, nerwiak Mortona czy zmiany zwyrodnieniowe stawu skokowego. Nie było dotąd prac oceniających zastosowanie śruby skokowej Spherus w leczeniu objawowej stopy płasko-koślawej.

Cele pracy

Kompleksowa ocena kliniczna, funkcjonalna i radiologiczna pacjentów przed i po operacji objawowej stopy płasko-koślawej z użyciem śruby Spherus. Prospektywna analiza chodu pacjentów przed i po leczeniu operacyjnym śrubą Spherus objawowej stopy płasko-koślawej.

Material i metody

W latach 2021-2022, przeprowadzono 35 zabiegów artroerezy z użyciem śruby skokowej Spherus w naszej klinice. Ostatecznie do badania zakwalifikowano 27 pacjentów (11 kobiet i 16 mężczyzn) w wieku od 7 do 14 lat (średni wiek 10,5 roku). U pacjentów z ograniczonym zgięciem grzbietowym stopy do 5-10 stopni wykonano jednoczesne wydłużanie ścięgna Achillesa (tzw. plastyka „Z”), co dotyczyło 37% pacjentów. Oceniano różne parametry, w tym poziom aktywności fizycznej, parametry radiologiczne (kąt Meary’ego, kąt Costa-Bartani, kąt nachylenia kości piętowej), czas trwania operacji, długość pobytu w szpitalu, satysfakcję pacjentów, powikłania pooperacyjne, przed- i pooperacyjne stosowanie środków przeciwbólowych oraz wykonano analizę biomechaniki chodu (czas trwania cyklu chodu, długość kroku, fazy podporu i wymachu, kadencję i prędkość chodu).

Wyniki

Kąt Meary'ego zmniejszył się z 18,63° przed operacją do 9,39° podczas ostatniej wizyty kontrolnej. Kąt Costa-Bartani zmniejszył się istotnie z 154,66° przed operacją do 144,58° po operacji. Zaobserwowano istotną statystycznie poprawę wyników w skali aktywności UCLA ze średniego wyniku 4,78 przed operacją, do średniego wyniku 6,05 w odległej obserwacji. Nastąpiła znacząca poprawa w wynikach aktywności fizycznej w skali aktywności VAS ze średniego wyniku przedoperacyjnego wynoszącego 5,47 do 7 w okresie obserwacji. Poziom bólu również wykazał poprawę, zmniejszając się w porównaniu ze średnim wynikiem VAS wynoszącym 4,73 przed operacją do średniego wyniku 2,73 w okresie obserwacji. Wyniki funkcjonalne oceniane w skali FFI-R również wykazały istotną poprawę ze średniego wyniku wynoszącego 140 punktów przed operacją do 97,75 punktów w kontroli odległej. Zgięcie grzbietowe stawu skokowego wzrosło ze

średnio 22° przed operacją do średnio 25,33° w czasie obserwacji. Porównanie przedoperacyjnych i kontrolnych wartości zakresu zgięcia podszwowego, przywiedzenia i odwiedzenia stawu skokowego operowanej kończyny nie wykazało istotnych zmian w zakresie poszczególnych parametrów.

Dyskusja

Artroereza, jako minimalnie inwazyjna procedura, polega na czasowym zablokowaniu stawu skokowego dolnego poprzez umieszczenie ruchomego implantu do zatoki stępu. Implanty te wpływają również na propriocepcję, co jest istotne ze względu na mechaniczne działanie na liczne proprioceptory znajdujące się w zatoce stępu. Najlepsze wyniki chirurgiczne osiąga się u pacjentów w wieku 7-14 lat. Ze względu na minimalnie inwazyjny charakter zabiegu, niskie koszty oraz niewielkie ryzyko powikłań, artroereza jest akceptowaną metodą leczenia objawowej stopy płasko-koślawej. Nie ma konsensusu co do techniki artroerezy; niektórzy autorzy zalecają stosowanie ruchomych implantów zatokowo-stępowych, inni preferują śruby piętowe. Jednak systematyczny przegląd wykazał, że implanty kości piętowej mają nieco mniejszy odsetek powikłań i lepsze rezultaty. Wprowadzenie śruby Spherus do kości skokowej stabilizuje jej podstawę, rozkłada ciężar ciała na większą powierzchnię i zmniejsza ryzyko migracji implantu.

Wyniki moich badań pokazały poprawę parametrów radiologicznych oraz klinicznych i funkcjonalnych po leczeniu objawowej stopy-płasko koślawej śrubą Spherus.

W badaniu oceniono i przeanalizowano poziom aktywności fizycznej pacjentów przed i po operacji. Wyniki wskazują na wzrost prędkości chodu, wartości kadencji oraz skrócenie czasu cyklu chodu na kończynie operowanej. Poprawiły się także parametry biomechaniczne chodu, co może wskazywać na znormalizowaną anatomie stopy, zwiększony zakres ruchu oraz zmniejszone dolegliwości bólowe po leczeniu śrubą Spherus. Znacząca poprawa poziomu aktywności fizycznej po leczeniu była związana ze zmniejszeniem bólu oraz mniejszą deformacją stopy.

Wnioski

Wyniki badań wskazują na skuteczność artroerezy z użyciem śruby Spherus w leczeniu objawowej stopy płasko-koślawej. Procedura ta poprawia biomechanikę chodu, zmniejsza dolegliwości bólowe oraz zwiększa poziom aktywności fizycznej pacjentów. Pomimo braku konsensusu co do najlepszej techniki artroerezy, zastosowanie śruby Spherus przynosi obiecujące rezultaty, stabilizując kość skokową i rozkładając obciążenia ciała, co może przyczynić się do lepszych wyników leczenia i zadowolenia pacjentów.

9. Abstract

Pes planovalgus is a common issue in orthopedics, occurring in both asymptomatic and symptomatic forms. Its prevalence varies and can range from 2.7% to 59%, depending on the studied population. Lack of treatment for symptomatic pes planovalgus can lead to serious future problems, such as limping, pain and foot deformities, Morton's neuroma, or degenerative changes in the ankle joint. There have been no studies evaluating the use of the Spherus screw in the treatment of symptomatic pes planovalgus.

Objectives

A comprehensive clinical, functional, and radiological assessment of patients before and after surgery for symptomatic pes planovalgus using the Spherus screw. A prospective analysis of gait in patients before and after surgical treatment with the Spherus screw for symptomatic pes planovalgus.

Material and Methods

From 2021 to 2022, 35 arthroereisis procedures using the Spherus screw were performed at our clinic. Ultimately, 27 patients (11 females and 16 males) aged 7 to 14 years (mean age 10.5 years) were included in the study. In patients with limited dorsal foot flexion of 5-10 degrees, simultaneous Achilles tendon lengthening (the so-called "Z" plasty) was performed, affecting 37% of patients. Various parameters were assessed, including the level of physical activity, radiological parameters (Meary's angle, Costa-Bartani angle, calcaneal pitch angle), surgery duration, hospital stay length, patient satisfaction, postoperative complications, pre- and postoperative use of painkillers, and biomechanical gait analysis (gait cycle duration, step length, stance and swing phases, cadence, and walking speed).

Results

Meary's angle decreased from 18.63° preoperatively to 9.39° at the last follow-up visit. The Costa-Bartani angle significantly decreased from 154.66° preoperatively to 144.58° postoperatively. There was a statistically significant improvement in the UCLA activity scale, with a mean score of 4.78 before surgery and a mean score of 6.05 at the distant follow-up. There was a significant improvement in physical activity scores on the VAS scale, from a mean preoperative score of 5.47 to 7 at follow-up. Pain levels also showed improvement, decreasing from a mean VAS score of 4.73 preoperatively to a mean score of 2.73 at follow-up. Functional results assessed by the FFI-R scale also showed significant improvement from a mean score of 140 points preoperatively to 97.75 points at distant follow-up. Dorsiflexion of the ankle joint increased from an average of 22° preoperatively to an average of 25.33° at follow-up. Comparison of preoperative and follow-up values for plantar flexion, adduction, and abduction of the ankle joint in the operated limb showed no significant changes in the respective parameters.

Discussion

Arthroereisis, as a minimally invasive procedure, involves temporarily blocking the subtalar joint by placing a movable implant into the sinus tarsi. These implants also affect proprioception, which is significant due to the mechanical action on the numerous proprioceptors located in the sinus tarsi. The best surgical outcomes are achieved in patients aged 7-14 years. Due to the minimally invasive nature of the procedure, low costs, and low risk of complications, arthroereisis is an accepted method of treating symptomatic pes planovalgus. There is no consensus on the technique of arthroereisis; some authors recommend the use of mobile sinus tarsi implants, while others prefer heel screws. However, a systematic review has shown that heel implants have a slightly lower complication rate and better outcomes. The introduction of the Spherus screw into the talus stabilizes its base, distributes body weight over a larger area, and reduces the risk of implant migration. My study results showed improvements in radiological, clinical, and functional parameters after treatment of symptomatic pes planovalgus with the Spherus screw.

The study evaluated and analyzed the level of physical activity in patients before and after surgery. The results indicate an increase in walking speed, cadence values, and a shortening of the gait cycle time on the operated limb. Biomechanical gait parameters also improved, which may indicate normalized foot anatomy, increased range of motion, and reduced pain after treatment with the Spherus screw. The significant improvement in physical activity levels after treatment was associated with reduced pain and less foot deformation.

Conclusions

The study results indicate the effectiveness of arthroereisis using the Spherus screw in the treatment of symptomatic pes planovalgus. This procedure improves gait biomechanics, reduces pain, and increases patients' physical activity levels. Despite the lack of consensus on the best arthroereisis technique, the use of the Spherus screw yields promising results, stabilizing the talus and distributing body weight, which may contribute to better treatment outcomes and patient satisfaction.

Article

Short-Term and Medium-Term Radiological and Clinical Assessment of Patients with Symptomatic Flexible Flatfoot Following Subtalar Arthroereisis with Spherus Screw

Andrzej Bobiński ¹ , Łukasz Tomczyk ² , Paweł Reichert ³  and Piotr Morasiewicz ^{1,*} 

¹ Department of Orthopaedic and Trauma Surgery, Institute of Medical Sciences, University of Opole, Witosa 26, 45-401 Opole, Poland; bobinski@interia.eu

² Department of Food Safety and Quality Management, Poznan University of Life Sciences, Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznan, Poland; tomczyk@up.poznan.pl

³ Department of Trauma and Hand Surgery, Wrocław Medical University, Borowska 213, 50-556 Wrocław, Poland; pawel.reichert@umed.wroc.pl

* Correspondence: morasp@poczta.onet.pl

Abstract: Background: There have been no reports on arthroereisis screw insertion into the talus in patients with flexible flatfoot. We aimed to conduct a clinical and radiological assessment in patients with symptomatic pes planovalgus deformity treated with a talar screw. Methods: This study involved a prospective assessment of 27 patients treated surgically for symptomatic flexible flatfoot deformity in the period 2021–2022. The following parameters were assessed in this study: Meary's angle, the Costa–Bartani angle, the calcaneal pitch angle, surgery duration, the length of hospital stay, patient satisfaction, patients' retrospective willingness to consent to the treatment they received, postoperative complications, and the use of analgesics. Results: The mean follow-up period was 14.76 months. Meary's angle decreased from 18.63° before surgery to 9.39° at follow-up ($p = 0.004$). The Costa–Bartani angle decreased significantly from 154.66° before surgery to 144.58° after surgery ($p = 0.012$). The calcaneal pitch angle changed from 16.21° before to 19.74°. Complications were reported in three patients (11.11%). The mean surgery duration was 32 min. The mean hospital stay was 2.2 days. Fourteen patients (51.85%) were highly satisfied with the treatment, and 12 patients (44.44%) were quite satisfied with treatment. Twenty-five (92.59%) of the evaluated patients would choose the same type of treatment again. Six patients (22.22%) needed to use analgesics prior to surgical treatment, whereas none of the patients needed to use them by the final follow-up. Conclusion: Spherus screw arthroereisis helps improve radiological parameters in patients with flexible flatfoot. We observed good clinical outcomes after treatment with a talar screw, with a majority of patients reporting moderate-to-high levels of satisfaction with treatment. Both short- and medium-term treatment outcomes of pes planovalgus treatment with the use of Spherus screw are good.

Keywords: flexible flatfoot; pes planovalgus; arthroereisis; symptomatic flatfoot; radiological; clinical



Citation: Bobiński, A.; Tomczyk, Ł.; Reichert, P.; Morasiewicz, P.

Short-Term and Medium-Term Radiological and Clinical Assessment of Patients with Symptomatic Flexible Flatfoot Following Subtalar Arthroereisis with Spherus Screw. *J. Clin. Med.* **2023**, *12*, 5038. <https://doi.org/10.3390/jcm12155038>

Received: 16 May 2023

Revised: 20 July 2023

Accepted: 26 July 2023

Published: 31 July 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

A flatfoot (pes planovalgus) is a common problem encountered by orthopedic surgeons [1–22]. Depending on the evaluated population, the estimated prevalence of pes planovalgus ranges from 2.7% to 59% [1,5,6,14,15]. Asymptomatic pes planovalgus does not require surgical treatment. However, symptomatic flatfoot may produce pain in the tarsal sinus and medial part of the foot, leg, and knee, limping or other gait disturbances, and limited exercise capacity, which may be associated with problems with footwear, daily activities, and sports [1,2,5–7,10,11,13–18]. Symptomatic pes planovalgus with accompanying pain, which affects approximately 2–14.2% of all flatfoot cases, is an indication for surgical treatment [1–7,10–12,14–22]. There are a number of approaches used in the

treatment of symptomatic pes planovalgus [1–22]. One technique, subtalar arthroereisis (a minimally invasive propping up of the talocalcaneal joint), involves the use of expandable sinus tarsi implants or calcaneal screws. Another technique involves introducing a fibular bone graft into the space between the calcaneus and talus. There are also corrective procedures involving calcaneal or talar wedge osteotomy, tendon transfer, tendon lengthening, gastrocnemius muscle or Achilles' tendon release, and subtalar, talonavicular, or calcaneocuboid arthrodesis [1–22]. Earlier arthroereisis techniques involved the insertion of various screws into the calcaneus or the placement of an expandable implant into the sinus tarsi [1,2,4–11,14–22]. Until recently, there have been no reports on arthroereisis screw insertion into the talus. Marketed several years ago, the Spherus talar screw (Gruppo Bioimpianti S.R.L., Italy) had been designed as a sinus tarsi plug to be introduced through the sinus tarsi into the talus. This is a novel surgical technique, whose outcomes have not yet been reported in the literature. Viewed from a biomechanical perspective, the Spherus screw is a self-locking wedge implant that, once placed in the talus, limits hindfoot eversion.

Apart from pain reduction, pes planovalgus treatment aims to improve foot function, radiological parameters, and gait by ensuring a physiological position of the foot under weight-bearing conditions [2,5–10,12].

Pes planovalgus treatment requires both functional and radiological assessments [1–5,7–10,14–19,22]. There has been no consensus on the preferred type of implant to be used for arthroereisis [1–22]. Earlier studies evaluated selected radiological and functional parameters following surgical treatment with the use of calcaneal implants [1,2,4,9,10,20,21], expandable sinus tarsi implants [5,8,14–16,19–21], or a fibular bone graft inserted between the talus and calcaneus [3]. Li et al., who evaluated 30 patients, reported good clinical and radiological outcomes following arthroereisis combined with soft-tissue procedures [17]. Vogt, who compared three types of implants (two expandable sinus tarsi implants and one calcaneal implant), reported comparable clinical and radiological outcomes with all three implant types [20]. Paolo et al. observed a greater improvement in foot mobility following the use of an endo-orthotic than a calcaneal implant [21]. A systematic review on arthroereisis showed a slightly lower rate of complications and better results with the use of calcaneal implants in comparison with other implant types [22].

We hypothesized that the use of a talar screw in patients with symptomatic planovalgus foot deformity would yield superior clinical and radiological outcomes.

Due to the lack of earlier studies on this topic, we aimed to conduct clinical and radiological assessments in patients with symptomatic pes planovalgus deformity treated with a talar screw.

2. Material and Methods

This study involved a prospective assessment of patients treated surgically for symptomatic flexible flatfoot deformity in the period 2021–2022. The study inclusion criteria were symptomatic flexible flatfoot, treatment via arthroereisis with the Spherus talar screw (Gruppo Bioimpianti S.R.L., Milan, Italy), age 7–14 years, informed assent, complete medical and radiological records, and a follow-up period of at least 12 months. The diagnosis of symptomatic flexible pes planovalgus was corroborated by the patient's history, clinical examination, and radiological imaging. All evaluated patients had received conservative treatment, including rehabilitation and shoe inserts. All patients exhibited hindfoot eversion and medial longitudinal arch collapse and experienced foot pain and problems with gait. Study exclusion criteria were other lower limb pathologies (such as cerebral palsy, tarsal coalition, other foot deformities, or rheumatoid joint disease), history of foot surgery, neurological conditions, history of foot injuries, incomplete medical or radiological records, a lack of informed assent, or a follow-up period shorter than 12 months. This study was approved by the local ethics committee. All patients and their legal guardians were informed of the voluntary nature of their participation in this study. Thirty-five arthroereisis

procedures with the use of the Spherus talar screw were conducted in our center in the years 2021 and 2022, Figure 1.

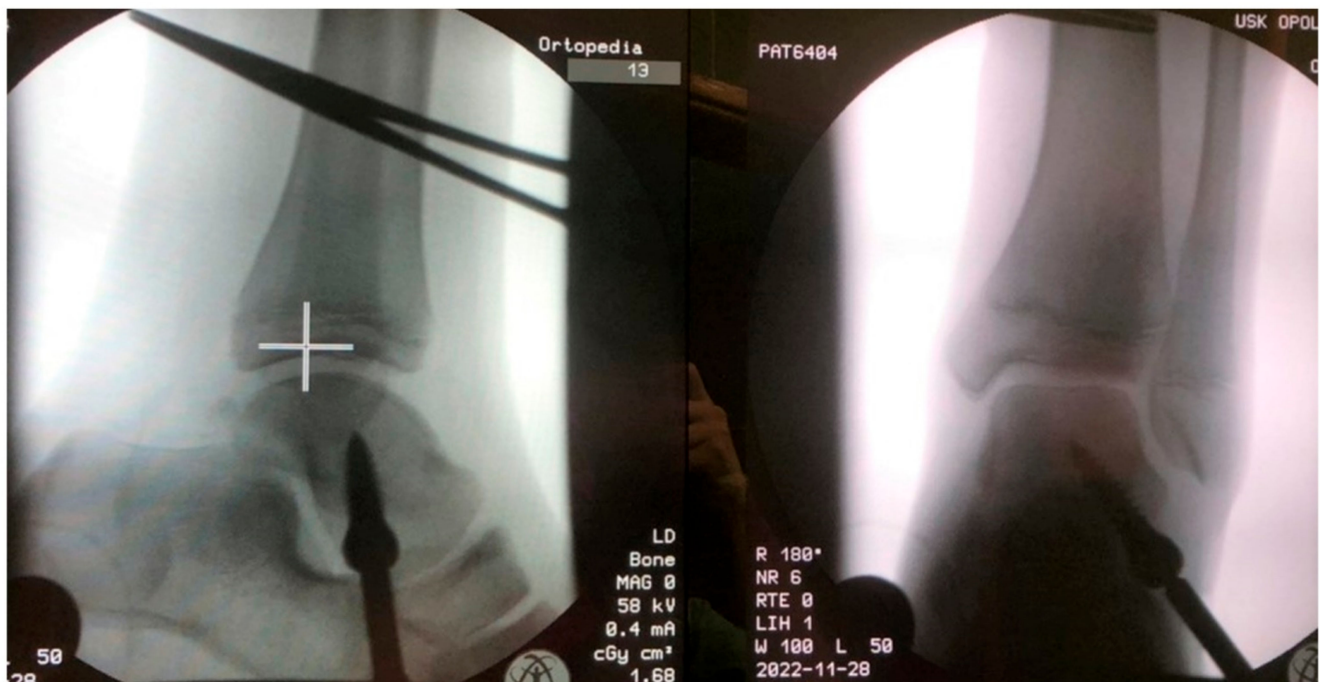


Figure 1. Radiologic images after pes planovalgus correction with the Spherus screw.

The application of the inclusion and exclusion criteria left 27 patients who were treated for pes planovalgus deformity as part of this study. The study group comprised 16 males and 11 females aged 7–14 years (mean age 10.5 years).

All study surgeries were performed by one of two experienced orthopedic surgeons and were conducted under general anesthesia and regional hemostasis. The patients were positioned prone, and an oblique, 1–2 cm-long incision was made along skin tension lines on the lateral aspect of the foot, at the level of the sinus tarsi, Figure 2.



Figure 2. Intraoperative image of the surgical access site for Spherus screw insertion.

Once the subcutaneous tissue was incised, the soft tissues of the sinus tarsi were dissected away with scissors to expose the inferior surface of the talus. With the foot maximally inverted and held at the right angle, as ensured via fluoroscopy, a pilot hole for the screw was created in the inferior surface of the talus using a straight awl. The awl was directed obliquely (medially and slightly proximally). Once the pilot hole was created, the appropriate screw was selected, with its length and diameter dependent on the patient's age, the size of the patient's talus, and the length of the patient's foot. With the awl withdrawn and the patient's foot held steadily at the right angle in maximum inversion, the selected screw was inserted into the prepared pilot hole. The screw was advanced, under fluoroscopy, until the desired degree of correction was achieved, with the spherical bulge of the screw protruding into the sinus tarsi and resting against its floor and walls. The surgical wound was then sutured and closed in layers. Concomitant lengthening of the Achilles tendon (Z-plasty) was performed in 36.36% of patients. The indication for Achilles tendon lengthening was a dorsiflexion of less than 5–10 degrees in the neutral position of the foot [1,2,5,14,15]. Full weight bearing was allowed on day one after surgery. In the case of concomitant Achilles tendon lengthening, the limb was immobilized in a short leg cast for 6 weeks. The patients were discouraged from strenuous exercise and sports during the first 6 weeks after surgery [7,11]. The rehabilitation protocol was the same for all patients and was initiated either at 6 weeks after surgery or on day one after surgery in patients with and without Achilles tendon lengthening, respectively. All patients were taught how to walk with crutches; the rehabilitation protocol also involved both passive and active exercises of the foot and the ankle joint.

All patients underwent a clinical examination and radiological imaging and completed a questionnaire.

The following parameters were assessed in this study: Meary's angle, the Costa–Bartani angle, the calcaneal pitch angle, surgery duration, the length of hospital stay, patient satisfaction, patients' retrospective willingness to consent to the treatment they received, postoperative complications, and the preoperative and postoperative use of analgesics.

Meary's angle, measured on a lateral X-ray view of the foot, is the angle between the line drawn along the longitudinal axis of the talus (i.e., the mid-talar axis) and that along the longitudinal axis of the first metatarsal (i.e., the first metatarsal axis) [4,7,15]. The Costa–Bartani angle, also measured on a lateral view of the foot, is the angle between the lines connecting three points: the lowermost point of the medial sesamoid, the lowermost point of the posterior calcaneal tuberosity, and the lowermost point of the talonavicular joint [4,7]. In order to mark the calcaneal pitch angle, a line was drawn from the inferior border of the distal articular surface of the calcaneus to the plantar surface of the calcaneus. The angle formed between this line and the transverse plane was the calcaneal pitch angle [4,7,15]. Postoperative complications were assessed based on the patients' accounts, a review of records, clinical examination, and radiological imaging. The following complications were evaluated: persistent pain, limited range of motion, edema, infection, delayed wound healing, screw breakage or loosening, the lack of achieved correction, hypercorrection (i.e., a varus foot), and the need for reoperation or early implant removal. The duration of surgery was measured in minutes. The length of hospital stay was measured in days. The degree of patient satisfaction with the treatment was rated as "highly satisfied", "satisfied", or "dissatisfied". We assessed how many patients would choose the same treatment method again and how many patients were taking analgesic agents (paracetamol, NSAIDs, and tramadol) prior to surgery and at the final follow-up visit.

Statistical Analysis

Data were analyzed using the Statistica 13.1 software. The Shapiro–Wilk test was used to check for normality of distribution. The Student's *t*-test and Mann–Whitney U test were used to compare quantitative variables. The level of statistical significance was set at $p < 0.05$.

3. Results

The mean follow-up period was 14.76 months (ranging from 12 to 26 months). Meary's angle decreased from 18.63° before surgery to 9.39° at the final follow-up visit, Table 1. The difference was statistically significant ($p = 0.004$).

Table 1. Radiological parameters before and after surgery.

Analyzed Variable	Before Surgery	After Surgery	<i>p</i> Value
Mean $\pm$ Standard Deviation			
Meary's angle (degrees)	18.63 ± 7.71	9.39 ± 6.85	0.004 *
Costa–Bartani angle (degrees)	154.66 ± 5.98	144.58 ± 14.83	0.012 **
Calcaneal pitch (degrees)	16.21 ± 4.41	19.74 ± 7.33	0.275 **

* Student's *t*-test; ** Mann–Whitney U test.

Costa–Bartani angle decreased significantly from 154.66° before surgery to 144.58° after surgery, Table 1 and Figure 3 ($p = 0.012$).

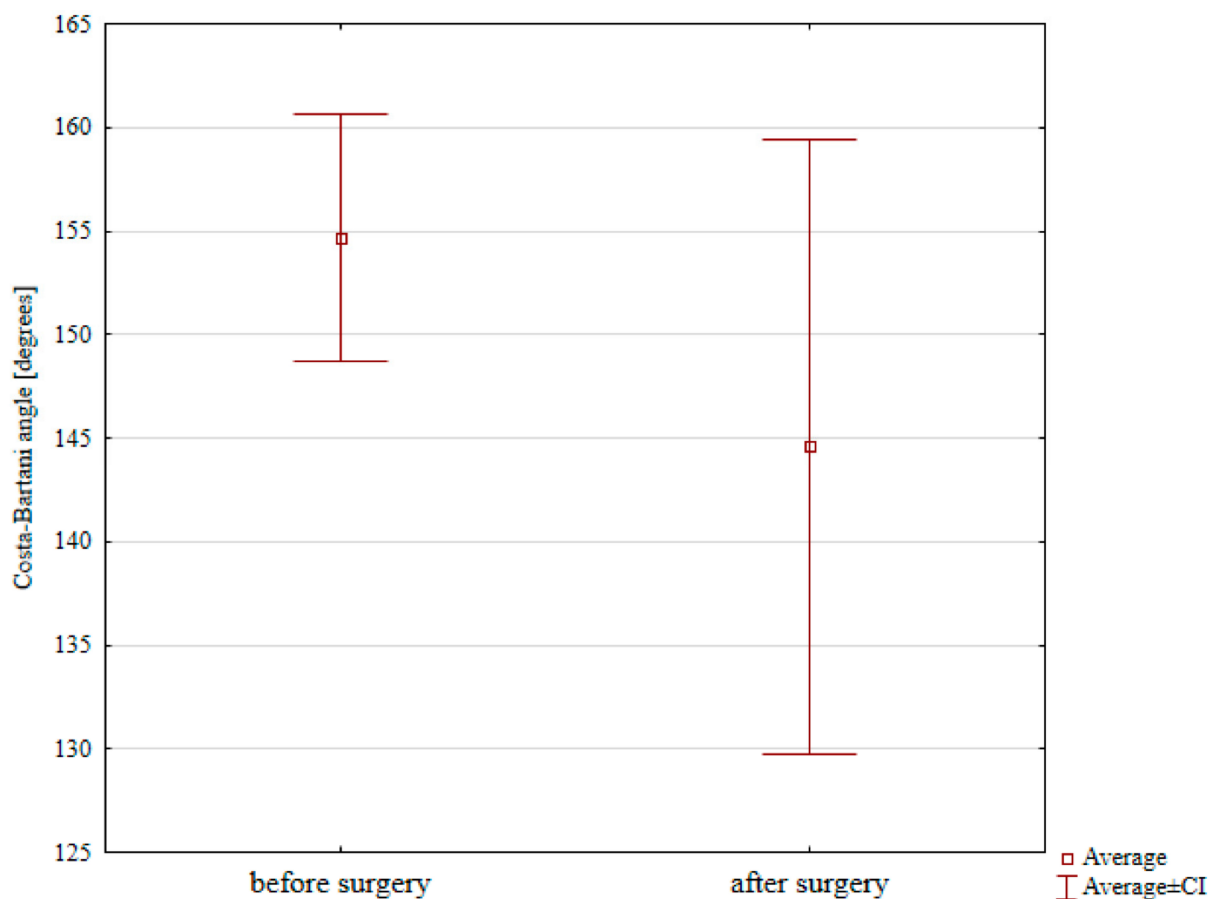


Figure 3. Preoperative and postoperative Costa–Bartani angle values.

The calcaneal pitch angle changed from 16.21° before to 19.74° after surgery; this difference was not significant, Table 1.

Complications were reported in three patients (11.11%). In each of these three cases, the nature of the complications was pain in the operated foot, which was treated with rehabilitation, shoe inserts, and ice packs. None of the patients experienced a limited range of motion, edema, infection, delayed wound healing, screw breakage or loosening, lack of deformity correction, hypercorrection (foot varus), the need of reoperation, the need of early screw removal, or any other complications.

The mean surgery duration was 32 min (SD 8.65). The mean hospital stay lasted 2.2 days (SD 0.41).

Fourteen patients (51.85%) were highly satisfied with the treatment, and 12 patients (44.44%) were satisfied with treatment, whereas one patient (3.7%) was dissatisfied with the treatment.

Twenty-five (92.59%) of the evaluated patients would choose the same type of treatment again.

Six patients (22.22%) needed to use analgesics prior to surgical treatment, whereas none of the patients needed to use them at final follow-up.

4. Discussion

This study assessed clinical and radiological parameters, both of which improved after surgical treatment of pes planovalgus with a talar screw, which supports our research hypothesis.

Due to its high prevalence, symptomatic pes planovalgus deformity in children is an important problem both for the patients themselves and the orthopedic surgeons [1–22]. There have been a number of reported surgical techniques for the treatment of pes planovalgus [1–22]. The lack of reports on the outcomes of talar screw placement through the sinus tarsi, including the placement of the Spherus talar screw, in patients with symptomatic pes planovalgus prompted us to study this topic. In assessing the outcomes of foot deformity treatment, it is important to consider multiple parameters, including both clinical and radiological aspects [1–4,8–10,14–18,21,22].

Flatfoot deformity is also diagnosed and treated in adults [23,24]. Like in children, the diagnosis is based on an X-ray under weight-bearing conditions [23,24]. Additionally, ultrasound may be used to assess any impairment of the tibialis anterior muscle and other soft tissues [23]. Computed tomography is used for detailed bone deformity assessment and preoperative and postoperative radiographic parameter analysis [23]. However, computed tomography scans are seldom used in children with symptomatic flexible flatfoot due to the high doses of ionizing radiation and the need to sedate very young children to perform the scan. Subtalar arthroereisis performed in adult patients has been reported to improve clinical and radiological outcomes [24]. However, unlike children, adults experience high rates of complication after treatment with this technique [24].

Jerosch assessed the outcomes of 21 arthroereisis procedures with a calcaneal screw [1]. The mean preoperative Meary's angle of 162° significantly increased to 174° after surgery [1]. Kubo et al. analyzed the treatment of 95 patients with pes planovalgus [2]. The mean preoperative Meary's angle of 18.9–19.5° decreased significantly to 13.3°–16.1° after the surgery [2]. Leonchuk et al. assessed 52 children after subtalar arthroereisis with the use of a fibular bone graft [3]. The mean preoperative and postoperative Meary's angles in this population were 32.8° and 4.1°, respectively [3]. In another study, Arbab et al. evaluated 73 feet after arthroereisis procedures performed with a calcaneal screw [4]. In that study, the mean preoperative and postoperative Meary's angles were 11.2° and 5.5°, respectively [4]. In another study, patients treated with expandable sinus tarsi implants achieved Meary's angle reduction from the mean value of 22.4° before to 8.4° after surgery [5]. In a group of 84 feet assessed by Elmarhgany et al. Meary's angle was 26.04° before and 3.3° after surgery [9]. Wang et al. reported a preoperative Meary's angle of 24.4° and the postoperative angle of 5.3° [15]. In our study, we achieved a significant reduction in Meary's angle from 18.63° preoperatively to 9.39° postoperatively, which is consistent with data from the literature [2–5,9,15].

Arbab et al. reported the mean Costa–Bartani angle of 133.1° preoperatively and 129.2° postoperatively [4]. Elmarhgany achieved a reduction in the mean Costa–Bartani angle from 151° to 127° [9]. A group of 68 patients evaluated by de Retana had the mean preoperative Costa–Bartani angle of 144.9° and the postoperative angle of 127.5° [14]. In our study, we achieved a significant reduction in the mean Costa–Bartani angle from

154.66° before to 144.58° after surgery, which is consistent with the data reported in the literature [4,9,14].

The mean calcaneal pitch angle in the group assessed by Kubo increased from 6.7°–12.7° before surgery to 8.8°–14.3° after surgery [2]. The group evaluated by Arbab et al. had the mean preoperative calcaneal pitch angle of 14.3° and the postoperative angle of 17.6° [4]. The patients assessed by de Bot et al. had the mean preoperative and postoperative calcaneal pitch angles of 11.7° and 14.5°, respectively [5]. Elmarhgany reported the calcaneal pitch angles of 6.97° and 23.9° before and after surgical treatment, respectively [9]. The preoperative and postoperative calcaneal pitch angles measured in a study by Wang et al. were 13.5° and 18.9°, respectively [15]. The increase in calcaneal pitch angle values from 16.21° preoperatively to 19.74° postoperatively observed in our study is consistent with the relevant data reported in the literature [2,4,5,9,15].

The reported complication rate following fibular bone graft was 6.9%, with one case (1.72%) of graft migration which required reoperation [3]. Arbab et al. observed complications in 1.3% of evaluated cases, with the nature of the complications including loss of correction and screw loosening [4]. Six out of 26 feet (23%) treated with Kalix II arthroereisis required revision surgery due to implant migration [5]. The rates of arthroereisis complications reported in the literature range from 4.8% to 18.6% [6]. Another literature review on arthroereisis with the use of bioabsorbable implants showed the rates of complications ranging from 2% to 65% [7]. Hong et al. reported complications in 20.5% of patients treated with an interference screw, with no cases of screw breakage or migration [8]. Elmarhgany reported complications in 3.57% of the operated feet [9]. The complications reported by Elbarbary et al. affected 4.35% of the evaluated group and included one case of infection that required implant removal after 4 months [10]. The complication rate in the group of 41 patients assessed by Franz et al. was 19.5% [12]. Martinelli reported complications in 10.2% of patients, with 6% of patients experiencing persistent pain that necessitated implant removal, 2% of patients experiencing residual deformity, and 2% of patients experiencing sports activity limitations [13]. De Retana reported complications in 33.8% of patients [14]. These included undercorrection (11.8%), overcorrection (7.4%), Achilles tendon contracture (5.9%), pain (5.9%), and peroneal tendon contracture (2.9%) [14]. Wang observed a 25.8% rate of complications in a group of 31 patients, with six patients reporting pain, one patient requiring implant removal, and one patient experiencing implant migration [15]. The rate of complications observed in our study was 11.11%. All complications were in the form of postoperative pain, which we consider to be a mild complication. In all cases, the pain resolved following rehabilitation and the use of shoe inserts and ice packs. We did not observe any serious complications, such as movement limitations, infection, delayed wound healing, screw breakage or loosening, lack of deformity correction, or hypercorrection (foot varus). Such serious complications have been reported by other authors [3–5,10,13–15]. Moreover, in our study, there were no cases requiring reoperation or implant removal. In light of these observations, our study results appear to be somewhat better than those reported in the literature [3–10,12–15,20]. With our study follow-up limited to short- and medium-term only; however, we are aware of the possibility of new complications emerging over the course of a longer follow-up. These might be more serious complications requiring additional treatment and, possibly, reoperation.

The mean duration of surgery reported by Elmarhgany was 20 min [9]. In another study, which involved subtalar arthroereisis, the mean duration of surgery was 46.1 min [15]. In our group of patients, the mean surgery time was 32 min, which is similar to the values reported in the literature [9,15] and indicates a relatively short surgery duration.

To date, there have been no studies evaluating the mean duration of hospital stay after an arthroereisis procedure. In our study, the mean hospital stay lasted 2.2 days, which indicates relatively short hospitalizations.

Ninety-five percent of patients who underwent arthroereisis with a calcaneal screw were either satisfied or highly satisfied with the results of treatment [4]. Overall satisfaction with treatment was also expressed by 81.25% of patients treated with expandable sinus tarsi

implants [5]. Martinelli assessed 49 patients treated with expandable sinus tarsi implants and reported 89% of patients being satisfied with the treatment [13]. Out of 68 patients evaluated by de Retana, 91% were highly satisfied or satisfied with treatment [14]. In our study, 96.3% of patients reported being highly satisfied or satisfied with treatment, which is consistent with the proportions reported by other authors [4,5,13,14] and indicates good patient-reported treatment outcomes.

Ninety-six percent of patients assessed by Arbab et al. would choose the same treatment method once again if the need arose [4]. In our study, 92.59% of patients would choose the same treatment method again, which is consistent with the data reported by other authors [4].

There have been no available reports on the use of analgesics by patients undergoing arthroereisis. In our study group, 22.22% of patients used analgesics before the surgery; however, no patients needed analgesics after the surgery, which indicates good treatment outcomes and a reduced pain severity after treatment.

Arthroereisis is intended to limit subtalar joint pronation and to achieve a physiological position of the foot under weight-bearing conditions via inserting an implant into the sinus tarsi [1,2,7,10,13]. Implant size selection is very important for this procedure [7,14,15]. An implant that is too large may excessively limit subtalar joint mobility and cause pain, whereas an implant that is too small will not ensure a complete correction of the deformity and may become loose [7,14,15]. The exact mechanism in which arthroereisis improves foot function and biomechanics has not been fully explored [2]. Arthroereisis restricts calcaneal eversion, which limits calcaneal valgus [2,14]. The implants also improve proprioceptive perception [2]. The sinus tarsi contains many nerve endings, which makes implant insertion affect neurological proprioception as a result of foot anatomy alteration [2]. Overweight and ankle joint space valgus deformity may adversely affect arthroereisis treatment outcomes [2,3]. Our study showed that the introduction of the Spherus talar screw through the sinus tarsi helps achieve outcomes comparable with those achieved with calcaneal screws. Arthroereisis with the use of the Spherus talar screw permits active heel inversion but blocks excessive heel eversion, which limits such complications as implant loosening or migration [10].

The use of the Spherus talar screw seems to have several advantages over techniques involving calcaneal screws or sinus tarsi implants. First, there is a lower risk of screw loosening or migration. In our study, there were no cases of Spherus screw loosening or migration, whereas other authors reported such complications with calcaneal screws (loosening or migration rates of 1.72%) [3] and sinus tarsi implants (migration rates of 3.2% to 23%) [5,15]. The absence of reports of Spherus screw loosening or migration may be due to several factors, which are, first, the special conical shape of the screw, second, a relatively large diameter of the screw (in comparison with the diameters of calcaneal screws), and third, a large diameter of the thread facilitating screw introduction into cancellous bone; these structural characteristics of the Spherus screw ensure its larger contact area with the bone and its superior stability inside the bone in comparison with calcaneal screws. Moreover, screw introduction into the talus, instead of the calcaneus, may be associated with lesser forces acting on the screw during full weight bearing. Another advantage of using the Spherus screw is the fact that it does not have to be removed over the mean follow-up period of 14.76 months. Conversely, arthroereisis with the use of calcaneal screws or sinus tarsi implants required implant removal due to pain, inflammation, or implant migration in 1.2%–40% of patients after 4 months–8 years [3,5–7,9,10,13–15,20]. All patients after subtalar arthroereisis with fibular bone graft required another surgery to remove the Kirschner wire from the foot after a mean period of 7 months following the first surgery [3].

The time to implant removal and the need for its removal after subtalar arthrodesis has not been unequivocally established [6,7,14]. Some authors suggest leaving the implant in for 2–3 years, which is the time required for adequate soft tissue and bone adaptation [6,7,14]. Following surgery with the use of the Spherus talar screw, patients were allowed to walk with full weight bearing on day one after surgery. Conversely, some of the other

surgical techniques require partial weight bearing for 2–8 weeks and the use of a cast for 2–8 weeks [3,5,13–15].

Spherus screw arthroereisis is a very simple technique, and it allows early weight bearing, uses a low-cost implant, and requires neither a large surgical access nor precise tissue dissection in comparison with other techniques [3,8]; the mean surgery duration is 32 min. Some authors have reported talus avascular necrosis following arthroereisis [3]; however, this complication was not observed in our study group. Subtalar arthroereisis with the Spherus screw does not disrupt bone growth, which is beneficial in case of the potential need for osteotomy in the future [15].

Some authors described arthroereisis performed simultaneously with other surgical procedures of the foot and ankle joint [1–3,8,10,12,14,15]. The most common concomitant procedures (performed in 17%–100% of patients) were Achilles tendon lengthening and gastrocnemius lengthening [1–3,5,10,12,14,15]. Achilles tendon and gastrocnemius contractures are common in patients with flexible flatfoot. We believe that all cases of Achilles tendon contracture require a tendon-lengthening procedure. In our study, 36.36% of patients required Achilles tendon lengthening due to contracture. A study by Wang suggests that the additional surgical procedure does not affect either the radiological or clinical outcomes of subtalar arthroereisis [15].

The goal of pes planovalgus treatment is to improve clinical and radiological parameters [2,5–10,19]. In our study, 96.3% of patients were highly satisfied or satisfied with treatment, and 92.59% of patients would choose the same treatment again. Moreover, the assessed radiological parameters improved after talar screw surgery, which suggests good treatment outcomes.

Limitations of our study include a relatively small sample size, which is a result of our desire to conduct prospectively both the clinical and radiological assessments. Nonetheless, other authors evaluated patient groups of similar size [1,5,8,10,15–17,19,21]. Another limitation of our study was the mean follow-up duration; however, as reported in the literature, most patients had normal foot function at four weeks after arthroereisis [11]. Some of the other, similar studies had a follow-up period similar to that in our study [11,15,16,21]. Due to its prospective nature, our study had no control group. We are planning to conduct another study and this time with a control group.

The strengths of our study are its prospective design (while some of the earlier studies were retrospective) [1,2,5,8,13,15,16,19,20], the fact that all surgeries were performed by one of only two experienced orthopedic surgeons, and the fact that both radiological and clinical parameters were assessed. We are planning a future study in a larger group of patients treated with the use of a talar screw, with a longer follow-up. Another one of our studies, whose results are soon to be published, involved gait assessment in a group of patients of similar size.

5. Conclusions

The use of the Spherus talar screw is a simple, minimally invasive, and effective method of treating symptomatic flexible flatfoot.

Spherus screw arthroereisis helps improve radiological parameters of patients with flexible flatfoot.

We observed good clinical outcomes after treatment with a talar screw, with a majority of patients reporting being satisfied or highly satisfied with treatment.

The short- and medium-term treatment outcomes of pes planovalgus treatment with the use of the Spherus screw are good.

Author Contributions: Conceptualization, A.B. and P.M.; Methodology, A.B., Ł.T. and P.M.; Software, A.B. and Ł.T.; Validation, A.B., P.R. and P.M.; Formal analysis, A.B., P.R. and P.M.; Investigation, A.B.; Resources, A.B.; Data curation, A.B. and Ł.T.; Writing—original draft, A.B., P.R. and P.M.; Writing—review & editing, A.B. and P.M.; Visualization, A.B.; Supervision, A.B. and P.M.; Project administration, A.B. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, and approved by the Bioethics Committee of the University of Opole (protocol code UO/0015/KB/2021, 23 June 2021).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author. The data are not publicly available due to privacy.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Jerosch, J.; Schunck, J.; Abdel-Aziz, H. The stop screw technique—A simple and reliable method in treating flexible flatfoot in children. *Foot Ankle Surg.* **2009**, *15*, 174–178. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Kubo, H.; Lipp, C.; Hufeland, M.; Ruppert, M.; Westhoff, B.; Krauspe, R.; Pilge, H. Outcome after subtalar screw arthroereisis in children with flexible flatfoot depends on time of treatment: Midterm results of 95 cases. *J. Orthop. Sci.* **2020**, *25*, 497–502. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Leonchuk, S.S.; Dyachkov, K.; Neretin, A.S.; Blanchard, A.J.; Popkov, D. Subtalar arthroereisis for treatment of children with flexible planovalgus foot deformity and analysis of CT data in long-term period. *J. Orthop.* **2020**, *22*, 478–484. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Arbab, D.; Frank, D.; Bouillon, B.; Lüding, C.; Wingenfeld, C.; Abbara-Czardybon, M. Subtalar Screw Arthroereisis for the Treatment of Symptomatic, Flexible Pes Planovalgus. *Z. Orthop. Unfall.* **2017**, *156*, 93–99. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- De Bot, R.T.A.L.; Stevens, J.; Hermus, J.P.S.; Staal, H.M.; van Rhijn, L.W.; Witlox, A.M. Clinical and Radiological Outcomes of Subtalar Kalix II Arthroereisis for a Symptomatic Pediatric Flexible Flatfoot. *Foot Ankle Spec.* **2021**, *14*, 9–18. [\[CrossRef\]](#)
- Bernasconi, A.; Lintz, F.; Sadile, F. The role of arthroereisis of the subtalar joint for flatfoot in children and adults. *EFORT Open Rev.* **2017**, *2*, 438–446. [\[CrossRef\]](#)
- Faldini, C.; Mazzotti, A.; Panciera, A.; Perna, F.; Stefanini, N.; Giannini, S. Bioabsorbable implants for subtalar arthroereisis in pediatric flatfoot. *Musculoskelet. Surg.* **2018**, *102*, 11–19. [\[CrossRef\]](#)
- Hong, J.; Dai, G.; Weng, Q.; Liu, Y. Interference Screw for the Treatment of Pediatric Flexible Flatfoot. *J. Foot Ankle Surg.* **2020**, *59*, 1209–1214. [\[CrossRef\]](#)
- Elmarghany, M.; El-Ghaffar, T.M.A.; Elgeushy, A.; Elzahed, E.; Hasanin, Y.; Knörr, J. Is subtalar extra articular screw arthroereisis (SESA) reducing pain and restoring medial longitudinal arch in children with flexible flat foot? *J. Orthop.* **2020**, *20*, 147–153. [\[CrossRef\]](#)
- Elbarbary, H.M.; Arafa, A.S.; Said, A.B.Z.; Hegazy, M.; Reiad, M.W.; Basha, N.Y.; Fahmy, M. Clinical and Radiological Outcomes of Subtalar Arthroereisis for Management of Planovalgus Foot in Children with Cerebral Palsy: 3-Year Follow-up. *Foot Ankle Spec.* **2020**, *15*, 536–544. [\[CrossRef\]](#)
- Hagen, L.; Pape, J.P.; Kostakev, M.; Peterlein, C.-D. Pedobarographic changes during first month after subtalar extra-articular screw arthroereisis (SESA) operation of juvenile flexible flatfoot. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* **2020**, *140*, 313–320. [\[CrossRef\]](#)
- Franz, A.; Herz, D.; Raabe, J.; Seeberger, U.; Bollmann, C. Pedobarographic outcome after subtalar screw arthroereisis in flexible juvenile flatfoot. *Foot Ankle Surg.* **2021**, *27*, 389–394. [\[CrossRef\]](#)
- Martinelli, N.; Bianchi, A.; Martinkevich, P.; Sartorelli, E.; Romeo, G.; Bonifacini, C.; Malerba, F. Return to sport activities after subtalar arthroereisis for correction of pediatric flexible flatfoot. *J. Pediatr. Orthop. B* **2018**, *27*, 82–87. [\[CrossRef\]](#)
- De Retana, P.F.; Álvarez, F.; Viladot, R. Subtalar Arthroereisis in Pediatric Flatfoot Reconstruction. *Foot Ankle Clin.* **2010**, *15*, 323–335. [\[CrossRef\]](#)
- Wang, S.; Chen, L.; Yu, J.; Zhang, C.; Huang, J.; Wang, X.; Ma, X. Mid-term Results of Subtalar Arthroereisis with Talar-Fit Implant in Pediatric Flexible Flatfoot and Identifying the Effects of Adjunctive Procedures and Risk Factors for Sinus Tarsi Pain. *Orthop. Surg.* **2021**, *13*, 175–184. [\[CrossRef\]](#)
- Ruiz-Picazo, D.; Jiménez-Ortega, P.; Doñate-Pérez, F.; Gaspar-Aparicio, N.; García-Martín, V.; Ramírez-Villaescusa, J.; Losa-Palacios, S. Radiographic and Functional Results following Subtalar Arthroereisis in Pediatric Flexible Flatfoot. *Adv. Orthop.* **2019**, *2019*, 5061934. [\[CrossRef\]](#)
- Li, B.; He, W.; Yu, G.; Zhou, H.; Xia, J.; Zhao, Y.; Zhu, H.; Yu, T.; Yang, Y. Treatment for Flexible Flatfoot in Children with Subtalar Arthroereisis and Soft Tissue Procedures. *Front. Pediatr.* **2021**, *9*, 656178. [\[CrossRef\]](#)
- Metcalfe, S.A.; Bowling, F.L.; Reeves, N.D. Subtalar Joint Arthroereisis in the Management of Pediatric Flexible Flatfoot: A Critical Review of the Literature. *Foot Ankle Int.* **2011**, *32*, 1127–1139. [\[CrossRef\]](#)
- Shi, C.; Li, M.; Zeng, Q.; Wen, X.; Tian, F.; Li, Y. Subtalar arthroereisis combined with medial soft tissue reconstruction in treating pediatric flexible flatfoot with accessory navicular. *J. Orthop. Surg. Res.* **2023**, *18*, 55. [\[CrossRef\]](#)
- Vogt, B.; Toporowski, G.; Gosheger, G.; Rölfig, J.D.; Rosenbaum, D.; Schiedel, F.; Laufer, A.; Kleine-Koenig, M.-T.; Theil, C.; Roedel, R.; et al. Subtalar Arthroereisis for Flexible Flatfoot in Children—Clinical, Radiographic and Pedobarographic Outcome Comparing Three Different Methods. *Children* **2021**, *8*, 359. [\[CrossRef\]](#)

21. Caravaggi, P.; Lullini, G.; Berti, L.; Giannini, S.; Leardini, A. Functional evaluation of bilateral subtalar arthroereisis for the correction of flexible flatfoot in children: 1-year follow-up. *Gait Posture* **2018**, *64*, 152–158. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
22. Vescio, A.; Testa, G.; Amico, M.; Lizzio, C.; Sapienza, M.; Pavone, P.; Pavone, V. Arthroereisis in juvenile flexible flatfoot: Which device should we implant? A systematic review of literature published in the last 5 years. *World J. Orthop.* **2021**, *12*, 433–444. [[CrossRef](#)]
23. Polichetti, C.; Borruto, M.I.; Lauriero, F.; Caravelli, S.; Mosca, M.; Maccauro, G.; Greco, T.; Perisano, C. Adult Acquired Flatfoot Deformity: A Narrative Review about Imaging Findings. *Diagnostics* **2023**, *13*, 225. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Mattesi, L.; Ancelin, D.; Severyns, M.P. Is subtalar arthroereisis a good procedure in adult-acquired flatfoot? A systematic review of the literature. *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* **2021**, *107*, 103002. [[CrossRef](#)]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.



Article

Arthroereisis with a Talar Screw in Symptomatic Flexible Flatfoot in Children

Andrzej Bobiński ¹, Łukasz Tomczyk ², Marcin Pelc ³, Damian Aleksander Chruścicki ³, Bartosz Śnietka ³ and Piotr Morasiewicz ^{1,*}

¹ Department of Orthopaedic and Trauma Surgery, Institute of Medical Sciences, University of Opole, Witosa 26, 45-401 Opole, Poland; bobinski@interia.eu

² Department of Food Safety and Quality Management, Poznan University of Life Sciences, Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznan, Poland

³ Institute of Medical Sciences, University of Opole, Witosa 26, 45-401 Opole, Poland

* Correspondence: morasp@poczta.onet.pl

Abstract: Background: Pes planovalgus, or flexible flatfoot, deformity is a common problem in pediatric orthopedic patients. There is no consensus on using the technique of arthroereisis in the treatment of symptomatic pes planovalgus. The aim of our study was to prospectively assess the functional outcomes following symptomatic pes planovalgus treatment with the use of the Spherus talar screw. Methods: Twenty-seven patients (11 females, 16 males), at a mean age of 10.5 years (7–14 years) were included in the prospective study. We assessed the level of physical activity (including sports) based on the University of California, Los Angeles (UCLA) activity scale, a 10-point level-of-activity VAS scale, and the Grimby physical activity scale. Pain was assessed based on a VAS pain scale; foot function was assessed with the revised Foot Function Index (FFI-R); and ankle joint mobility was measured. Results: The mean follow-up period was 18 months (14–26 months). There was a significant improvement in VAS-measured physical activity scores from 5.47 to 7 at follow-up, $p = 0.048$. There was a significant improvement in UCLA activity scale scores from 4.78 to 6.05 at follow-up, $p = 0.045$. Pain levels decreased from a mean VAS score of 4.73 prior to surgery to a mean score of 2.73 at follow-up, $p = 0.047$. The functional FFI-R scores showed a significant improvement from 140 points prior to surgery to 97.75 points at follow-up, $p = 0.017$. Comparison of the preoperative and follow-up values of the range of plantar flexion, adduction, and abduction in the operated limb also showed no significant changes in those individual parameters. The mean values of dorsiflexion, plantar flexion, adduction, and abduction at the ankle joint at follow-up, compared individually between the operated and non-operated foot showed no statistically significant differences. Conclusions: The use of a talar screw in the treatment of symptomatic pes planovalgus helps reduce pain and improve functional outcomes after treatment. Foot function assessments showed diminished pain, improved levels of physical and sport activity, and no effect on the range of motion after surgery in comparison with preoperative data. Arthroereisis with a talar screw is a valid surgical technique for the treatment of symptomatic pes planovalgus.

Keywords: sport; function; pain; pes planovalgus; subtalar arthroereisis; Spherus screw



Citation: Bobiński, A.; Tomczyk, Ł.; Pelc, M.; Chruścicki, D.A.; Śnietka, B.; Morasiewicz, P. Arthroereisis with a Talar Screw in Symptomatic Flexible Flatfoot in Children. *J. Clin. Med.* **2023**, *12*, 7475. <https://doi.org/10.3390/jcm12237475>

Academic Editor: Yuji Uchio

Received: 6 November 2023

Revised: 24 November 2023

Accepted: 1 December 2023

Published: 2 December 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Pes planovalgus, or flexible flatfoot, deformity is a common problem in pediatric orthopedic patients [1–22]. Asymptomatic cases are not an indication for treatment [1,2,5–8,10,12,13,16,18–20,22]. However, the deformity may cause foot pain, limping, asymmetric gait, pain in the ankle joint and leg, limitations in daily activities, gait inefficiency, and limited sport activity [1–8,12,13,16,20,22]. The lack of treatment of symptomatic pes planovalgus in pediatric patients may lead to the development of various musculoskeletal conditions in adulthood; these conditions include hallux valgus deformity, Morton’s neuroma, and degenerative lesions in the foot and ankle joint [2,23]. The

initial approach to symptomatic pes planovalgus is conservative treatment continued for 3–6 months, which involves walking restrictions, rehabilitation, shoe inserts, body weight reduction, and the use of analgesics [1,2,5–8,12,13,18,19,22]. If the conservative approach is ineffective, surgical treatment is recommended [1,2,4–8,12,13,18–20,22].

There are many known techniques for surgical treatment used in cases of symptomatic pes planovalgus [1–22]. These include arthroereisis, calcaneal or talar osteotomy, arthrodesis (of the calcaneocuboid, subtalar, and talonavicular joints), soft-tissue surgery, Achilles tendon lengthening, gastrocnemius lengthening, tendon transfer, and arthroereisis [1–22]. Arthroereisis is a minimally invasive procedure involving the temporary blocking of the subtalar joint through sinus tarsi implant placement, calcaneal screw insertion, or a small wedge-shaped bone graft implantation between the talus and calcaneus [1–22]. The purpose of arthroereisis is to limit foot pronation and forefoot abduction, provide lateral support for the subtalar joint, and reduce hindfoot eversion [1–3,5,13,22]. Implant placement helps increase both foot supination and forefoot adduction [3,13]. Implants used for arthroereisis procedures also affect proprioception due to their mechanical effect on the numerous proprioceptors found in the sinus tarsi [1–3,13,22]. The best surgical outcomes have been reported for arthroereisis procedures conducted in patients aged 7–14 years; this is because the implants affect the remodeling of the still growing talus and calcaneus and the three-dimensional structure of the subtalar joint [2,4–6,8,10,12,13,21].

Since it is a minimally invasive, inexpensive, and time-efficient procedure with few complications, arthroereisis is an accepted method of treatment for symptomatic pes planovalgus, yielding high rates of patient satisfaction with treatment [1–3,5–9,19,22]. Nonetheless, there is no consensus on the technique of arthroereisis in the treatment of symptomatic pes planovalgus [1,2,4,5,7,8,10,12,13,20]. Some authors suggest the use of free-floating sinus tarsi implants [6,7,9], some advocate for inserting screws into the calcaneus [3,8,13,15,16,19], still others report comparable outcomes irrespective of the type of implant used [1,2,12,18]. The goals of arthroereisis procedure includes reduction of pain and deformity, improvement of gait, and increase in physical activity and sport activity [5,7,8,10,12].

In our previous study we assessed short-term and medium-term radiological and clinical arthroereisis outcomes achieved with a talar Spherus screw, in the same group of patients included in the current study [22]. We reported radiological improvement and good clinical outcomes [22]. However, there is a paucity of studies assessing physical and sport activity following arthroereisis [5].

To the best of our knowledge, there have been no studies assessing foot function, range of motion in the ankle joint, pain severity, and patients' physical and sport activity following talar screw insertion as part of arthroereisis treatment of symptomatic pes planovalgus. Some studies on arthroereisis are retrospective in nature [1,3–7,12–15,19]; therefore, we undertook a prospective assessment.

We hypothesized that arthroereisis with the use of a talar implant would improve functional outcomes.

The aim of our study was to prospectively assess the functional outcomes following symptomatic pes planovalgus treatment with the use of a Spherus talar screw.

2. Materials and Methods

This was a prospective study conducted at a single center. We analyzed every patient with pes planovalgus who underwent arthroereisis with a Spherus talar screw in the period between 2021 and 2022. All patients underwent physical and radiological examinations and were diagnosed with symptomatic pes planovalgus based on the following signs and symptoms: foot pain, flexible flatfoot deformity, a talocalcaneal angle (kite angle) of >40 degrees measured on a weight-bearing foot radiograph [1–3,5,19]. All analyzed patients had undergone initial conservative treatment in the form of rehabilitation, shoe inserts, walking restrictions, non-steroidal anti-inflammatory drugs, and weight loss reduction over a period of 3–6 months [1,5,7,8,19].

The study inclusion criteria were age between 7 and 14 years, symptomatic flexible flatfoot, failure of conservative treatment, arthroereisis with a Spherus talar screw (Gruppo Bioimpianti S.R.L., Milan, Italy), Figure 1, a follow-up period of at least 14 months, informed consent, available and complete medical and radiological records, available and complete functional assessments records (activity questionnaires, pain visual analog scale [VAS] scores, ankle range of motion), no history of lower limb injury, the absence of synostoses in radiographic images, and no neurological comorbidities.



Figure 1. Radiographic images after pes planovalgus correction with a Spherus screw.

The exclusion criteria were ages under 7 years and over 14 years, history of lower limb injury, radiographic evidence of synostosis in the foot or the ankle joint, neurological comorbidities, a follow-up period of less than 14 months, incomplete medical, radiographic, or functional assessment records. All patients and their legal guardians were informed of the voluntary nature of their participation. The study, which was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, had been approved by an ethics committee.

In the period from the year 2021 to 2022, there were 35 arthroereisis procedures with the use of a Spherus talar screw conducted at our clinic. Application of the inclusion and exclusion criteria yielded 27 patients (11 females, 16 males), at a mean age of 10.5 years (7–14 years) who were ultimately included in the study.

Patients with foot dorsiflexion limited to 5–10 degrees [13,14,18] underwent simultaneous Achilles tendon lengthening (Z-plasty). There were 10 such patients (37%). Each surgery was performed by one of two experienced orthopedic surgeons. The patients were operated on in a supine position, under tourniquet-induced ischemia of the treated lower limb. A small, 1–2-cm-long, incision was performed distal and slightly anterior to the tip of the lateral malleolus, and close to the sinus tarsi. Anteroposterior (AP) and lateral radiographs were performed intraoperatively to determine the appropriate location for implant insertion. Depending on patient's age, body weight, foot size, and prior experience of the operator, the diameter of the selected screw was either 6.5 mm or 8 mm, and screw length ranged from 25 mm to 40 mm. With the patient's foot in maximum supination, the Spherus screw was inserted into the inferior surface of the talus from the direction of the sinus tarsi, while being monitored via intraoperative AP and lateral radiography. On an AP view, the course of the introduced Spherus screw was oblique and directed superomedially, whereas, in a lateral view, the image of the screw overlapped with that of the lateral malleolus. Immediately after surgery, the patients were allowed to walk

while bearing full weight on the operated foot; however, in case of pain, the use of two elbow crutches was recommended for up to 14 days following surgery. Six weeks after surgery, the patients were allowed to resume physical activity fully, including sports. The patients were followed-up radiographically at an orthopedic outpatient clinic six weeks after surgery and every three months thereafter.

As part of the study, we assessed the level of physical activity (including sports) based on the 6-point University of California, Los Angeles (UCLA) activity scale [24], a 10-point level-of-activity VAS scale [25], and a 6-point Grimby physical activity scale [26]. Pain was assessed based on a 10-point VAS pain scale; foot function was assessed with the revised Foot Function Index (FFI-R) [27]; and ankle joint mobility was measured manually with a goniometer. Dorsiflexion, plantar flexion, adduction, and abduction at the ankle joint were assessed both in the operated and non-operated limb, with the results expressed in degrees. These assessments were conducted both prior to surgery and at a long-term follow-up visit.

Statistical Analysis

Data were statistically analyzed using Statistica 13.1. The Shapiro–Wilk test was used to check for normality of distribution. The Mann–Whitney U test was used to compare quantitative variables. The level of statistical significance was set at $p < 0.05$.

3. Results

The mean follow-up period was 18 months (14–26 months). Detailed results of the physical activity, functional, and range-of-motion assessments have been presented in Tables 1 and 2. We observed improvements in the UCLA activity scale scores from a mean score of 4.78 prior to surgery to a mean score of 6.05 at follow-up, $p = 0.045$; see Table 1.

Table 1. Detailed functional assessment of patients before and after surgery.

Analyzed Variable	Before Treatment	After Treatment	<i>p</i> Value *
	(Mean $\pm$ Standard Deviation)		
UCLA scale	4.78 $\pm$ 2.25	6.05 $\pm$ 1.61	0.045
Gimbry scale	3.26 $\pm$ 1.59	3.94 $\pm$ 1.17	0.14
VAS Activity Scale	5.47 $\pm$ 2.89	7 $\pm$ 2.05	0.048
VAS pain scale	4.73 $\pm$ 3.51	2.73 $\pm$ 3.28	0.047
FFI-R scale	140 $\pm$ 61.28	97.75 $\pm$ 28.53	0.017
Dorsiflexion OL [degree]	22 $\pm$ 8.44	25.33 $\pm$ 6.77	0.316
Plantar flexion OL [degree]	30.7 $\pm$ 9.21	32.91 $\pm$ 11.22	0.623
adduction OL [degree]	21.9 $\pm$ 9.74	23.5 $\pm$ 7.46	0.667
abduction OL [degree]	18.6 $\pm$ 9.92	17.83 $\pm$ 6.72	0.831
Dorsiflexion NOL [degree]	36.25 $\pm$ 8.53	29 $\pm$ 13.41	0.381
Plantar flexion NOL [degree]	37 $\pm$ 14.58	49 $\pm$ 19.49	0.342
adduction NOL [degree]	28.5 $\pm$ 6.24	25 $\pm$ 3.53	0.32
abduction NOL [degree]	28.5 $\pm$ 12.61	22 $\pm$ 10.36	0.422

* U Mann–Whitney Test; OL—operated limb, NOL—non-operated limb.

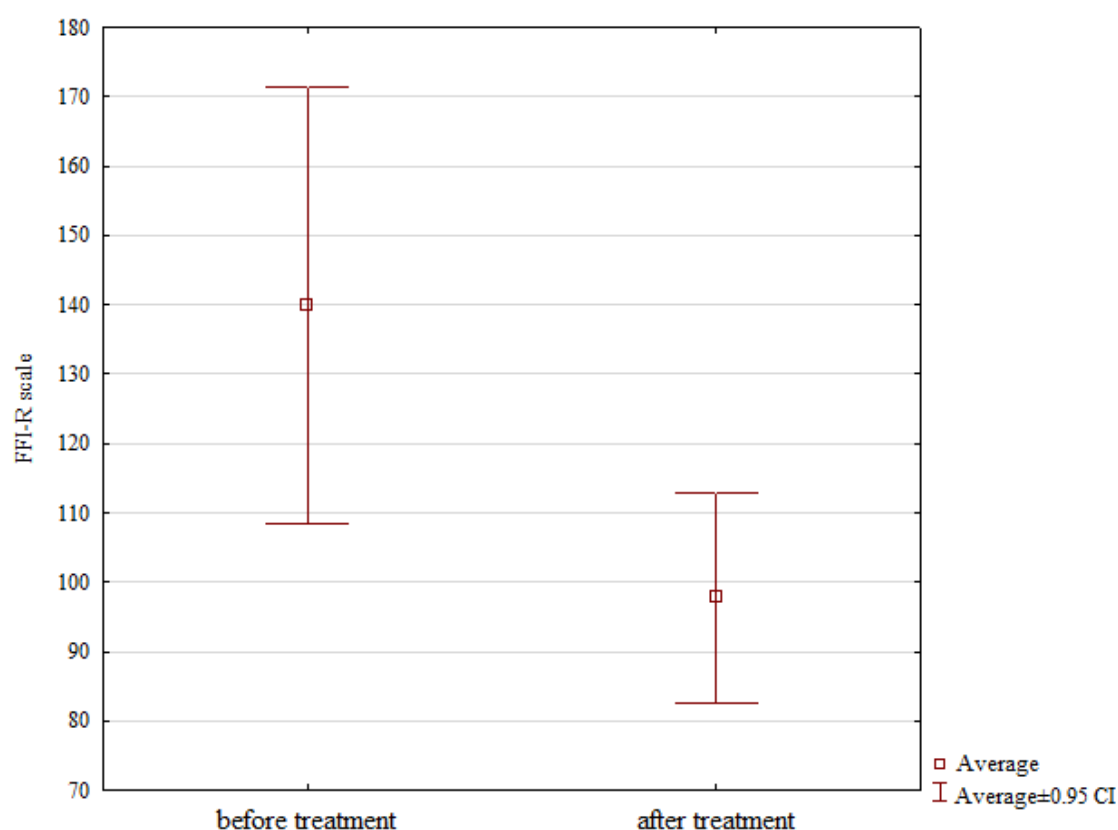
Grimby activity scores showed an increase in physical activity from 3.26 prior to treatment to 3.94 at long-term follow-up; however, the difference was not statistically significant; see Table 1. There was a significant improvement in VAS-measured physical activity scores from a mean preoperative score of 5.47 to 7 at follow-up, $p = 0.048$, Table 1. Pain levels also showed improvement, decreasing from a mean VAS score of 4.73 prior to surgery to a mean score of 2.73 at follow-up; the difference was statistically significant, $p = 0.047$; see Table 1.

The functional scores assessed with the FFI-R scale also showed significant improvement from a mean score of 140 points prior to surgery to 97.75 points at follow-up, $p = 0.017$; see Table 1, Figure 2.

Table 2. Detailed range of motion of patients before and after treatment.

Analyzed Variable	(Mean $\pm$ Standard Deviation)		<i>p</i> Value
	before treatment		
	OL	NOL	
Dorsiflexion [degree]	22 $\pm$ 8.44	36.25 $\pm$ 8.53	0.047
plantar flexion [degree]	30.7 $\pm$ 9.21	37 $\pm$ 14.58	0.343
abduction [degree]	18.6 $\pm$ 9.92	28.5 $\pm$ 12.61	0.142
adduction [degree]	21.9 $\pm$ 9.74	28.5 $\pm$ 6.24	0.238
	after treatment		
	OL	NOL	
Dorsiflexion [degree]	25.33 $\pm$ 6.77	29 $\pm$ 13.41	0.457
plantar flexion [degree]	32.91 $\pm$ 11.22	49 $\pm$ 19.49	0.086
abduction [degree]	17.83 $\pm$ 6.72	22 $\pm$ 10.36	0.335
adduction [degree]	23.5 $\pm$ 7.46	25 $\pm$ 3.53	0.677

OL—operated limb, NOL—non-operated limb.

**Figure 2.** Preoperative and postoperative scores FFI-R scale scores values.

Dorsiflexion increased, though non-significantly, from a mean of 22° prior to surgery to a mean of 25.33° at follow-up; see Table 1. Comparison of the preoperative and follow-up values of the range of plantar flexion, adduction, and abduction in the operated limb also showed no significant changes in those individual parameters; see Table 1.

Importantly, the mean values of dorsiflexion, plantar flexion, adduction, and abduction at the ankle joint at follow-up, compared individually between the operated and non-operated foot, showed no statistically significant differences; see Table 2.

4. Discussion

The aim of our study was to assess whether the use of a talar screw for arthroereisis would improve functional parameters of the foot in symptomatic pes planovalgus. We observed improvement in the UCLA and VAS physical activity scores following treatment.

There was also improvement in the FFI-R scores at follow-up and the VAS showed pain reduction following treatment, with no postoperative decrease in the range of motion at the ankle joint. The obtained results support our initial hypothesis.

Arthroereisis, which is used in the treatment of symptomatic pes planovalgus, is minimally invasive, inexpensive, produces few complications, and ensures high rates of patient satisfaction [1,2,4–9,15,17,19]. The implants used for arthroereisis mechanically limit foot pronation and improve proprioception, which helps achieve the correction of pes planovalgus deformity [1–3,5]. The effects on proprioception induce changes in the interactions between muscles and ligaments [1–3,12,13].

To date, there has been no consensus among orthopedic surgeons regarding which type of arthroereisis implants to choose in patients with symptomatic pes planovalgus [1,2,5,7,8]. In our previous study, we assessed the short-term and medium-term radiological and clinical results of using the Spherus talar screw for arthroereisis, and observed improvements in radiological parameters and good clinical treatment outcomes [22]. There have been no earlier studies assessing foot function, ankle range of motion, pain severity, and physical activity levels in patients after arthroereisis with a talar screw.

In our previous study we assessed short-term and medium-term radiological and clinical arthroereisis outcomes achieved with a talar Spherus screw in the same group of patients included in the current study [22]. We reported radiological improvement and good clinical outcomes [22].

Martinelli et al. assessed the level of sport activities in 49 patients following arthroereisis [5]. Twelve months after surgery, all patients returned to physical activity; however, the authors reported no improvement in the level of sport activities following treatment in comparison with the preoperative data [5]. The patients from our study group showed improved levels of physical activity following treatment. Arthroereisis allows for immediate full weight bearing and a rapid return to previous levels of physical and sport activities [5]. An increased level of sport activity, which may improve the emotional status of patients after treatment, is one of the goals of surgery [4,5]. To date, there have been no studies aiming to assess the levels of physical and sport activity with the UCLA activity scale, VAS, and Grimby sport activity scale after arthroereisis. Our group of patients showed significant postoperative improvement in the level of physical activity in terms of both VAS and UCLA activity scale scores, which indicated good treatment outcomes. An increase in physical and sport activity after surgery in our study population may be due to reduced pain and decreased deformity [5,13].

The main purpose of arthroereisis is to reduce pain [5,7,8,10,12,13]. Memeo reported postoperative pain in 15.8% of patients after arthroereisis with the use of a calcaneal screw, and in 5.5% of patients after arthroereisis with the use of a sinus tarsi spacer, and the mean VAS pain score was 7.4–7.8 [12]. In our study, we observed a significant postoperative reduction in pain, which is a good outcome. Pain after arthroereisis may be associated with selection of an inappropriate implant size [4,12].

Vogt et al. assessed 73 patients after various arthroereisis procedures with the use of various implant types [1]. Those authors reported improvement in the FFI from a mean of 36.4 prior to surgery to 22.8 after surgery [1]. In our study, we also observed a significant improvement in FFI-R scores after treatment, which may indicate that arthroereisis with the use of a talar screw yields improvement in foot function.

Our study group showed no significant differences between the operated and non-operated limb in mean degrees of postoperative dorsiflexion, plantar flexion, adduction, or abduction at the ankle joint. Nor were there significant differences between the preoperative and postoperative ranges of motion at the ankle joint. The exception was the pre-operatively larger range of dorsiflexion in the unoperated limb (36.25°) compared to the operated limb (22°), $p = 0.047$. All joint range of motion measurements before and after surgery were performed in the same way by the same investigators. These results indicate good ranges of motion after treatment with a talar screw. Unlike wedge osteotomy and arthrodesis procedures, arthroereisis is a reversible treatment method that helps keep some range

of motion at the subtalar joint [1]. On the other hand, sinus tarsi implants may cause fibular muscle contractures in 3–10% of patients [1]. In addition, Retana reported limited movement at the subtalar joint following the use of a calcaneal screw [13]. In our group of patients, we observed no cases of fibular muscle contracture, which may have been responsible for the lack of range of motion limitations at the ankle joint following treatment. The use of the Spherus screw facilitates early rehabilitation and bearing full weight on the treated limb, which may help improve the range of motion. Some of the other authors use cast immobilization for six weeks after surgery [13,14], which may also limit the ankle's range of motion.

Thirty-seven percent of our study group underwent simultaneous Achilles tendon lengthening. Other authors also reported performing additional procedures in 17–100% of patients undergoing arthroereisis [1,3,7,9–14,16–18]. Those additional procedures had no effect on either clinical or radiological outcomes [10,14].

In our group, none of the patients had the screw removed.

The use of a talar screw allows for other foot or ankle surgeries to be performed in the future. Tendon lengthening or transfer, osteotomy, or arthrodesis procedures may be performed without limitations.

The limitations of our study are the relatively short follow-up period and a relatively small sample size. Both are due to a prospective nature of the study, limited number of patients with indications for arthroereisis, our eagerness to present an evaluation of the novel type of implants, and the limited capacity for orthopedic surgery procedures at our hospital. However, other authors also reported a similar follow-up period [6,14,19]. On the other hand, according to Hagen, the return of foot function occurs within four weeks after arthroereisis [19]. Some authors analyzed the results based on study populations of similar size [6,9,14,16,19]. Another limitation of our study is the lack of a control group, which is the result of the prospective nature of this study; however, other authors also conducted studies without a control group [1,3,5,6,12–19].

The strengths of our study include its prospective nature, identical rehabilitation protocol, and the surgeries being conducted by one of only two orthopedic surgeons. Some studies on arthroereisis are retrospective [1,3–7,12–15,18]. In the future, we are planning a similar study in a larger group of patients and with a longer follow-up period.

5. Conclusions

The use of a talar screw in the treatment of symptomatic pes planovalgus helps reduce pain and improve functional outcomes after treatment.

Foot function assessments showed diminished pain, improved levels of physical and sport activity, and no effect on the range of motion after surgery in comparison with preoperative data.

Arthroereisis with a talar screw is a valid surgical technique for the treatment of symptomatic pes planovalgus.

Author Contributions: Conceptualization, A.B. and P.M.; Methodology, A.B., Ł.T. and P.M.; Software, A.B. and Ł.T.; Validation, A.B.; Formal analysis, A.B.; Investigation, A.B., M.P., D.A.C. and B.Ś.; Resources, A.B.; Data curation, A.B. and Ł.T.; Writing—original draft, A.B., M.P., D.A.C., B.Ś. and P.M.; Writing—review & editing, A.B. and P.M.; Visualization, A.B.; Supervision, A.B. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board (or Ethics Committee) of Bioethics Committee of the University of Opole (protocol code UO/0015/KB/2021 and date of approval 23 June 2021).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Vogt, B.; Toporowski, G.; Gosheger, G.; Rölfig, J.D.; Rosenbaum, D.; Schiedel, F.; Laufer, A.; Kleine-Koenig, M.T.; Theil, C.; Roedel, R.; et al. Subtalar Arthroereisis for Flexible Flatfoot in Children—Clinical, Radiographic and Pedobarographic Outcome Comparing Three Different Methods. *Children* **2021**, *8*, 359. [\[CrossRef\]](#)
- Faldini, C.; Mazzotti, A.; Panciera, A.; Perna, F.; Stefanini, N.; Giannini, S. Bioabsorbable implants for subtalar arthroereisis in pediatric flatfoot. *Musculoskelet. Surg.* **2018**, *102*, 11–19. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Kubo, H.; Lipp, C.; Hufeland, M.; Ruppert, M.; Westhoff, B.; Krauspe, R.; Pilge, H. Outcome after subtalar screw arthroereisis in children with flexible flatfoot depends on time of treatment: Midterm results of 95 cases. *J. Orthop. Sci.* **2020**, *25*, 497–502. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Vescio, A.; Testa, G.; Amico, M.; Lizzio, C.; Sapienza, M.; Pavone, P.; Pavone, V. Arthroereisis in juvenile flexible flatfoot: Which device should we implant? A systematic review of literature published in the last 5 years. *World J. Orthop.* **2021**, *12*, 433–444. [\[CrossRef\]](#)
- Martinelli, N.; Bianchi, A.; Martinkevich, P.; Sartorelli, E.; Romeo, G.; Bonifacini, C.; Malerba, F. Return to sport activities after subtalar arthroereisis for correction of pediatric flexible flatfoot. *J. Pediatr. Orthop. B* **2018**, *27*, 82–87. [\[CrossRef\]](#)
- Ruiz-Picazo, D.; Jiménez-Ortega, P.; Doñate-Pérez, F.; Gaspar-Aparicio, N.; García-Martín, V.; Ramírez-Villaescusa, J.; Losa-Palacios, S. Radiographic and Functional Results following Subtalar Arthroereisis in Pediatric Flexible Flatfoot. *Adv. Orthop.* **2019**, *2019*, 5061934. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Hong, J.; Dai, G.; Weng, Q.; Liu, Y. Interference Screw for the Treatment of Pediatric Flexible Flatfoot. *J. Foot Ankle Surg.* **2020**, *59*, 1209–1214. [\[CrossRef\]](#)
- Elmarghany, M.; El-Ghaffar, T.M.A.; Elgeushy, A.; Elzahed, E.; Hasanin, Y.; Knörr, J. Is subtalar extra articular screw arthroereisis (SESA) reducing pain and restoring medial longitudinal arch in children with flexible flat foot? *J. Orthop.* **2020**, *20*, 147–153. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Elbarbary, H.M.; Arafa, A.S.; Said, A.B.Z.; Hegaz, M.; Reiad, M.W.; Basha, N.Y.; Fahmy, M. Clinical and Radiological Outcomes of Subtalar Arthroereisis for Management of Planovalgus Foot in Children With Cerebral Palsy: 3-Year Follow-up. *Foot Ankle Spec.* **2022**, *15*, 536–544. [\[CrossRef\]](#)
- Tan, J.H.I.; Tan, S.H.S.; Lim, A.K.S.; Hui, J.H. The outcomes of subtalar arthroereisis in pes planus: A systemic review and meta-analysis. *Arch. Orthop. Trauma. Surg.* **2021**, *141*, 761–773. [\[CrossRef\]](#)
- Franz, A.; Herz, D.; Raabe, J.; Seeberger, U.; Bollmann, C. Pedobarographic outcome after subtalar screw arthroereisis in flexible juvenile flatfoot. *Foot Ankle Surg.* **2021**, *27*, 389–394. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Memeo, A.; Verdoni, F.; Rossi, L.; Ferrari, E.; Panuccio, E.; Pedretti, L. Flexible Juvenile Flat Foot Surgical Correction: A Comparison Between Two Techniques After Ten Years' Experience. *J. Foot Ankle Surg.* **2019**, *58*, 203–207. [\[CrossRef\]](#)
- Fernández de Retana, P.; Alvarez, F.; Viladot, R. Subtalar arthroereisis in pediatric flatfoot reconstruction. *Foot Ankle Clin.* **2010**, *15*, 323–335. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Wang, S.; Chen, L.; Yu, J.; Zhang, C.; Huang, J.-Z.; Wang, X.; Ma, X. Mid-term Results of Subtalar Arthroereisis with Talar-Fit Implant in Pediatric Flexible Flatfoot and Identifying the Effects of Adjunctive Procedures and Risk Factors for Sinus Tarsi Pain. *Orthop. Surg.* **2021**, *13*, 175–184. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Arbab, D.; Frank, D.; Bouillon, B.; Lüding, C.; Wingenfeld, C.; Abbata-Czardybon, M. Subtalar Screw Arthroereisis for the Treatment of Symptomatic, Flexible Pes Planovalgus. *Z. Orthop. Unfall.* **2018**, *156*, 93–99. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Jerosch, J.; Schunck, J.; Abdel-Aziz, H. The stop screw technique—A simple and reliable method in treating flexible flatfoot in children. *Foot Ankle Surg.* **2009**, *15*, 174–178. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Leonchuk, S.S.; Dyachkov, K.; Neretin, A.S.; Blanchard, A.J.; Popkov, D. Subtalar arthroereisis for treatment of children with flexible planovalgus foot deformity and analysis of CT data in long-term period. *J. Orthop.* **2020**, *22*, 478–484. [\[CrossRef\]](#)
- de Bot, R.T.A.L.; Stevens, J.; Hermus, J.P.S.; Staal, H.M.; van Rhijn, L.W.; Witlox, A.M. Clinical and Radiological Outcomes of Subtalar Kalix II Arthroereisis for a Symptomatic Pediatric Flexible Flatfoot. *Foot Ankle Spec.* **2021**, *14*, 9–18. [\[CrossRef\]](#)
- Hagen, L.; Pape, J.P.; Kostakev, M.; Peterlein, C.D. Pedobarographic changes during first month after subtalar extra-articular screw arthroereisis (SESA) operation of juvenile flexible flatfoot. *Arch. Orthop. Trauma. Surg.* **2020**, *140*, 313–320. [\[CrossRef\]](#)
- Bernasconi, A.; Lintz, F.; Sadile, F. The role of arthroereisis of the subtalar joint for flatfoot in children and adults. *EFORT Open Rev.* **2017**, *2*, 438–446. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- De Pellegrin, M. Subtalar screw-arthroereisis for correction of flat foot in children. *Orthopade* **2005**, *34*, 941–953. [\[CrossRef\]](#)
- Bobinski, A.; Tomczyk, Ł.; Reichert, P.; Morasiewicz, P. Short-Term and Medium-Term Radiological and Clinical Assessment of Patients with Symptomatic Flexible Flatfoot Following Subtalar Arthroereisis with Spherus Screw. *J. Clin. Med.* **2023**, *12*, 5038. [\[CrossRef\]](#)
- Polichetti, C.; Borruto, M.I.; Lauriero, F.; Caravelli, S.; Mosca, M.; Maccauro, G.; Greco, T.; Perisano, C. Adult Acquired Flatfoot Deformity: A Narrative Review about Imaging Findings. *Diagnostics* **2023**, *13*, 225. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)

24. Amstutz, H.; Thomas, B.; Jinnah, R.; Kim, W.; Grogan, T.; Yale, C. Treatment of primary osteoarthritis of the hip. A comparison of total joint and surface replacement arthroplasty. *J. Bone Joint Surg. Am.* **1984**, *66*, 228–241. [[PubMed](#)]
25. Zahiri, C.; Schmalzried, T.; Szuszczewicz, E.; Amstutz, H. Assessing Activity in Joint Replacement Patients. *J. Arthroplast.* **1998**, *13*, 890–895. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
26. Grimby, G. Physical activity; muscle training in the elderly. *Acta Medica Scand. Suppl.* **1986**, *711*, 233–237. [[CrossRef](#)]
27. Stéfani, K.C.; Pereira Filho, M.V.; Oliveira, P.R.; Wun, P.Y.L. Translation, Cultural Adaptation and Validation of the Foot Function Index—Revised (FFI-R). *Acta Ortop. Bras.* **2017**, *25*, 188–193. [[CrossRef](#)]

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.



ORIGINAL ARTICLE

Gait Analysis in Patients with Symptomatic Pes Planovalgus Following Subtalar Arthroereisis with the Talus Screw

Andrzej Bobiński¹ · Łukasz Tomczyk² · Marcin Pelc³ · Damian Chruścicki³ · Bartosz Śnietka³ · Jarosław Wójcik⁴ · Piotr Morasiewicz¹

Received: 25 September 2023 / Accepted: 11 February 2024
© Indian Orthopaedics Association 2024

Abstract

Background Pes planovalgus is one of the most common pediatric skeletal deformities. There have been no studies to analyze in detail the spatiotemporal variables of gait following arthroereisis.

Purpose of the study The purpose of our study was to assess gait parameters in patients with symptomatic flexible flatfoot following treatment with the talus screw.

Methods This was a prospective study assessing the 22 patients treated surgically due to symptomatic flexible flatfoot with the talus screw. Patients underwent gait assessment with a G-Sensor. We analyzed the following gait parameters: gait cycle duration, step length, support phase duration, swing phase duration, double support duration, single support duration, cadence, velocity, step length.

Results The post-operative gait parameter assessment for the operated and non-operated foot showed a significant difference only in terms of step length. Cadence increased from the pre-operative mean of 82.29 steps/min to a post-operative mean of 102.94 steps/min. Gait velocity increased significantly from 0.81 m/s before to 0.96 m/s after surgery.

Discussion Arthroereisis with the talus screw helps improve gait parameters following surgery. Post-operatively, we observed increased gait velocity and cadence and decreased gait cycle duration in the operated limb.

Conclusion Short-term biomechanical outcomes of pes planovalgus treatment with the talus screw are good.

Keywords Gait · Pes planovalgus · Subtalar arthroereisis · Spherus screw · Talus screw

Introduction

Pes planus or planovalgus, also known as flexible flatfoot, is one of the most common pediatric skeletal deformities [1–24]. Asymptomatic cases do not require treatment. Flat-foot symptoms include pain, problems with footwear, limited

exercise, limping, and other gait abnormalities [1, 2, 5–7, 10, 11, 13–15, 17–24].

If conservative treatment is ineffective, symptomatic cases can be managed via various surgical techniques reported in the literature, including expandable sinus tarsi implants (subtalar arthroereisis), calcaneal stop screws, bone grafts, tendon lengthening, tendon transfer, talar or calcaneal osteotomy, and arthrodesis [1–24]. The talus screw (Gruppo Bioimpianti S.R.L., Milan, Italy) has been developed for surgical correction of pes planovalgus. There are only two publications available, by the authors of this manuscript, that evaluate the clinical and radiological parameters of Spherus screw insertion into the talus to achieve arthroereisis [25, 26]. Such screw placement offers a large contact area and support for its base on the floor and walls of the sinus tarsi.

The treatment goals in symptomatic flexible pes planovalgus patients include functional improvement, pain reduction, normalized foot position, and gait improvement [2, 5–10, 12, 16, 18–24]. Evaluation of musculoskeletal abnormalities,

✉ Piotr Morasiewicz
morasp@poczta.onet.pl

¹ Department of Orthopaedic and Trauma Surgery, Institute of Medical Sciences, University of Opole, al. Witosa 26, 45-401 Opole, Poland

² Department of Food Safety and Quality Management, Poznan University of Life Sciences, Wojska Polskiego 31, 60-624 Poznań, Poland

³ Faculty of Medicine, Institute of Medical Sciences, University of Opole, ul. Oleska 48, 45-052 Opole, Poland

⁴ University Clinical Hospital in Opole, al. Witosa 26, 45-401 Opole, Poland

such as pes planovalgus, includes biomechanical and gait parameter assessments as well as radiographic and clinical examinations [2, 7, 11, 12, 14, 18, 19, 22, 27–31]. Anatomical correction improves joint mobility and reduces pain, which improves gait following treatment [2, 18, 19]. The use of a G-Sensor ensures repeatable, objective, and accurate gait parameter assessments [27–29].

Selected gait parameters have been evaluated following surgical treatment of flexible flatfoot with expandable implant insertion into the sinus tarsi [19], and implant insertion into the calcaneus [11, 12, 19]. Hagen et al. analyzed static and gait parameters in patients following arthroereisis with calcaneal screw implantation [11]. Franz et al. used a pedobarographic platform to assess gait following a calcaneal stop procedure involving calcaneal screw insertion into the sinus tarsi [12]. Vogt et al. evaluated pedobarographic parameters of gait in patients following arthroereisis with expandable calcaneal implants and screws [19].

It is still not fully understood how arthroereisis affects gait after surgery. There have been no studies to analyze in detail the spatiotemporal variables of gait following arthroereisis.

We hypothesized that surgical treatment of symptomatic flexible flatfoot with the use of the talus screw would improve gait parameters.

In light of a lack of literature on this subject, the purpose of our study was to assess gait parameters in patients with symptomatic flexible flatfoot following treatment with the talus screw.

Patients and Methods

This was a prospective study assessing the patients treated surgically due to symptomatic flexible flatfoot. All patients underwent arthroereisis in the absence of improvement after 6–12 months of non-surgical treatment (rehabilitation, exercise, NSAIDs, shoe inserts). Our study inclusion criteria were symptomatic flexible pes planovalgus with pain, failure of conservative management, age 7–14 years at the time of surgery, arthroereisis with the Spherus talus screw (Gruppo Bioimpianti S.R.L., Milan, Italy), written consent, complete medical and radiographic records, and a follow-up period of over 14 months. Symptomatic flexible pes planovalgus was confirmed on the basis of anamnesis, clinical and radiological examination. The exclusion criteria were any additional lower limb pathologies, history of foot surgery, neurological conditions, the presence of synostosis, foot injuries, incomplete medical or radiographic records, a lack of written consent, and a follow-up period of less than 14 months. The study had been approved by the local bioethics committee and was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki. All patients and their legal guardians were

informed of the voluntary nature of study participation. Twenty-four arthroereisis procedures were conducted with the use of the Spherus screw; Fig. 1. Applying the inclusion and exclusion criteria left 22 pes planovalgus patients to be evaluated post-operatively. The study group comprised 8 females and 14 males aged 7–14 years.

All procedures were performed by two experienced orthopedic surgeons (co-authors of the article). The procedures were performed under general anesthesia and regional hemostasis, achieved with a thigh tourniquet. The patients were in a supine position. An oblique 1–2 cm incision, which corresponded to skin tension lines, was made on the lateral aspect of the foot, somewhat distal and anterior to the tip of the lateral malleolus, at the level of the sinus tarsi. After cutting through the subcutaneous tissue, the surgeons dissected away the soft tissues of the sinus tarsi, to expose the inferior surface of the talus. With the foot held at the right angle and maximally inverted, as ensured via fluoroscopy, a pilot hole for the screw was created in the inferior surface of the talus with a straight awl being directed obliquely, proximally and medially. Once the pilot hole was created, the right screw was selected, with its length and diameter dependent on the size of the patient's talus, the length of the foot, and age. With the patient's foot held steadily at a right angle and maximally inverted, the screw was inserted into the prepared pilot hole, starting from the inferior surface of the talus. The screw was advanced, under fluoroscopy, until the desired degree of correction was achieved, with the spherical bulge of the screw protruding toward the sinus



Fig. 1 AP radiographic images, 8 months after pes planovalgus correction with the talus screw, male, 12 years old

tarsi and resting against its floor and walls. Achilles tendon lengthening (Z plasty) was performed in eight patients as a concomitant procedure. The indication for Achilles tendon lengthening was a dorsiflexion of less than 5°–10° in the neutral position of the foot [1, 2, 5, 14, 15, 18]. Following surgery, full weight-bearing was allowed on day one after surgery, provided no pain was felt. If there was pain on walking, the patient used elbow crutches for 5–14 days. In cases of concomitant Achilles tendon lengthening, the limb was immobilized in a short leg cast for 6 weeks. For 6 weeks following surgery, the patients were discouraged from strenuous exercise and sports [7, 11]. The uniform rehabilitation protocol for all patients was started on the first day after surgery, in patients without Achilles tendon lengthening, and 6 weeks after surgery, in the group of patients with concomitant Achilles tendon lengthening.

Patients underwent gait assessment with a G-Sensor prior to surgery and after a minimum of 14 months after surgery. The G-Sensor is a wireless system with an inertial sensor placed on the patient's body, Fig. 2. The system is composed of a triaxial accelerometer, magnetic sensor, triaxial gyroscope, and G-studio software to analyze the data obtained from the sensor in real time. The G-Sensor is used for objective, accurate, and repeatable gait assessment [27–29]. The G-Sensor is suitable for assessing gait and physical activity, as shown by the coefficient of variation between instruments 2.5% and analyses of the inter-instrument correlation coefficient from 0.90 to 0.99 [32–34]. The obtained data, which illustrate all the phases of the gait cycle, help objectively assess the patient's gait and detect possible gait deviations [27–29].

In this study we analyzed the following gait parameters:

- gait cycle duration (s),
- step length (%),
- support phase duration (%),
- swing phase duration (%),

- double support duration (%),
- single support duration (%),
- cadence (steps/min),
- velocity (m/s),
- step length (m).

The G-Sensor was placed at the level of the L4–L5 intervertebral disc. The patients walked barefoot at their normal speed along a distance of 5 m, turning back and forth. All patients were assessed in the same room, with the same device. The data collected from the device were processed with G-studio software (BTS Bioengineering, Quincy, MA, USA); exported to a Microsoft Excel spreadsheet, and analyzed. The pre-operative and post-operative data and the data from the operated and non-operated foot were compared.

Statistical Analysis

Data were statistically analyzed using the Statistica 13.1. The Shapiro–Wilk test was used to check for normality of distribution. The student's t-test was used to compare quantitative variables. The level of statistical significance was set at $p < 0.05$.

Results

The mean follow-up period was 15.5 months (ranging from 14 to 18 months).

A comparison of the pre-operative gait parameters for the operated and non-operated foot showed no differences in terms of gait cycle duration, step length, support phase duration, swing phase duration, double support duration, or single support duration; Table 1.

The post-operative gait parameter assessment for the operated and non-operated foot showed a significant difference only in terms of step length ($p = 0.047$); Table 2; Fig. 3. There were no post-operative differences between the two



Fig. 2 The G-Sensor placed on the patient's body

Table 1 Spatio-temporal parameters of gait before treatment

Analyzed variable	OL	NOL	<i>p</i> value*
	Mean $\pm$ standard deviation		
Gait cycle duration (s)	1.54 $\pm$ 0.23	1.54 $\pm$ 0.27	0.957
Step length (%)	49.07 $\pm$ 4.91	51.58 $\pm$ 4.08	0.114
support phase duration (%)	58.45 $\pm$ 6.97	59.67 $\pm$ 5.38	0.57
Swing phase duration (%)	41.54 $\pm$ 6.97	40.31 $\pm$ 5.37	0.568
Double support duration (%)	9.47 $\pm$ 3.14	9.69 $\pm$ 2.62	0.868
Single support duration (%)	39.49 $\pm$ 5.57	41.41 $\pm$ 7.42	0.401
Steps analyzed	10.23 $\pm$ 1.21	10.11 $\pm$ 1.26	0.783

OL operated limb, NOL non-operated limb

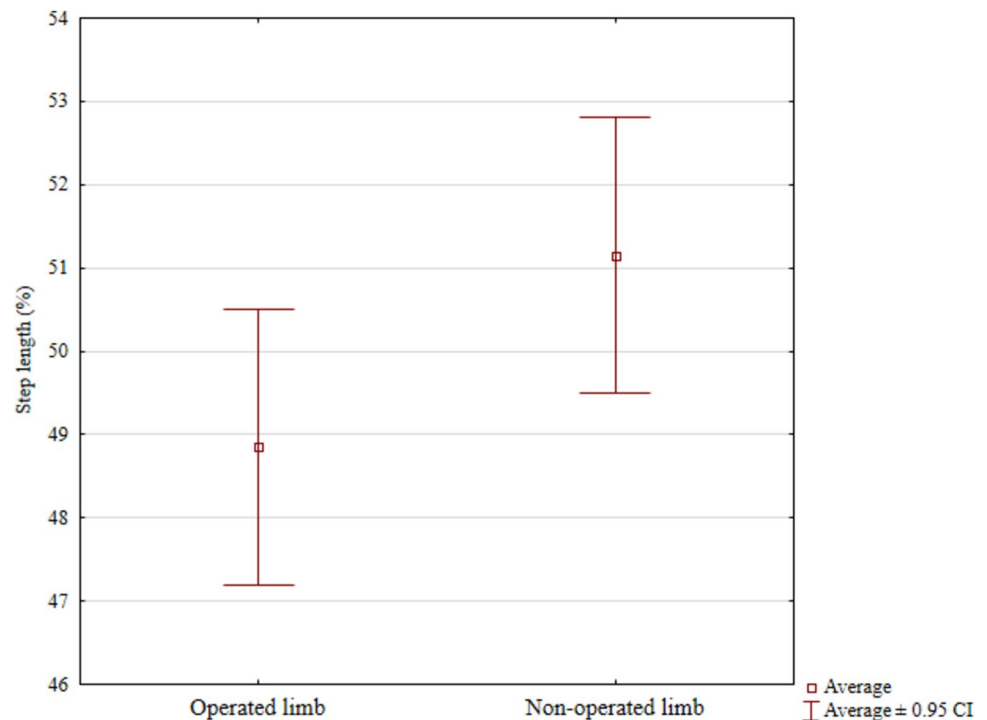
*Student's *t*-test

Table 2 Spatio-temporal parameters of gait after treatment

Analyzed variable	OL	NOL	<i>p</i> value*
	Mean $\pm$ standard deviation		
Gait cycle duration (s)	1.24 $\pm$ 0.24	1.21 $\pm$ 0.21	0.749
Step length (%)	48.84 $\pm$ 3.74	51.15 $\pm$ 3.74	0.047
Support phase duration (%)	55.58 $\pm$ 11.66	59.08 $\pm$ 3.85	0.188
Swing phase duration (%)	42.11 $\pm$ 3.15	40.91 $\pm$ 3.85	0.27
Double support duration (%)	9.25 $\pm$ 2.81	8.25 $\pm$ 2.21	0.194
Single support duration (%)	40.61 $\pm$ 4.24	41.53 $\pm$ 2.69	0.388
Steps analyzed	10.45 $\pm$ 1.89	10.59 $\pm$ 1.84	0.810008740662566

OL operated limb, NOL non-operated limb

*Student's *t*-test

Fig. 3 Post-operative step length for the operated and non-operated limb

feet in gait cycle duration, support phase duration, swing phase duration, double support duration, or single support duration; Table 2.

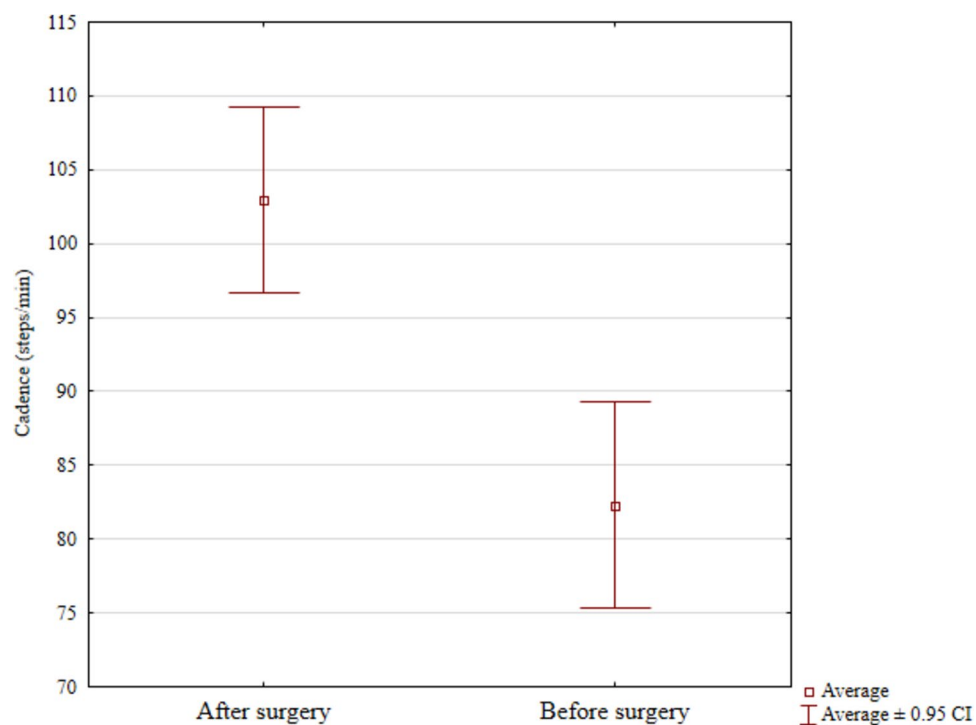
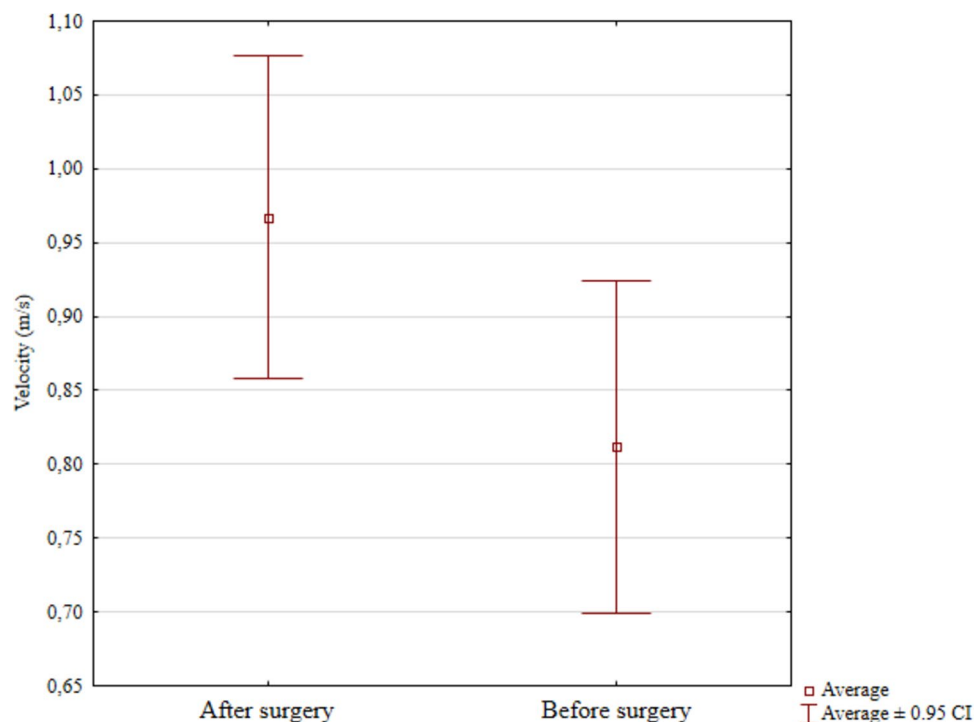
Cadence increased from the pre-operative mean of 82.29 steps/min to a post-operative mean of 102.94 steps/min, ($p < 0.001$); Table 3; Fig. 4. Gait velocity increased significantly from 0.81 m/s before to 0.96 m/s after surgery, ($p = 0.046$); Table 3; Fig. 5. Step length showed no change when the pre-operative and post-operative values were compared; Table 3.

We observed a significant reduction in post-operative gait cycle duration in the operated limb (1.24 s) in comparison with the pre-operative value (1.54 s), ($p < 0.001$); Table 4. The pre-operative and post-operative gait cycle duration

Table 3 Selected gait parameters before and after surgery

Analyzed variable	Before surgery	After surgery	<i>p</i> value*
	Mean $\pm$ standard deviation		
Cadence (steps/min)	82.29 $\pm$ 13.59	102.94 $\pm$ 14.09	<0.001
Velocity (m/s)	0.81 $\pm$ 0.21	0.96 $\pm$ 0.24	0.046
Step length (m)	0.63 $\pm$ 0.14	0.57 $\pm$ 0.11	0.185
Analysis duration (s)	48.72 $\pm$ 10.51	39.29 $\pm$ 9.51	0.005

*Student's *t*-test

Fig. 4 Pre-operative and post-operative cadence**Fig. 5** Gait velocity before after surgery

differed for the non-operated limb ($p < 0.001$); Table 4. The other evaluated gait parameters showed no statistically significant differences between the operated and non-operated limbs either before or after surgery; Table 4.

Discussion

In our study, we assessed gait parameters before and after surgical treatment of symptomatic pes planovalgus. We observed improved gait parameters following pes planovalgus treatment with the talus screw, which supports our

Table 4 Detailed gait parameters before and after surgery

Analyzed variable	Before surgery Mean $\pm$ standard deviation	After surgery	<i>p</i> value*
Gait cycle duration OL (s)	1.54 $\pm$ 0.23	1.24 $\pm$ 0.24	< 0.001
Step length OL (%)	49.07 $\pm$ 4.91	48.84 $\pm$ 3.74	0.873
Support phase duration OL (%)	58.45 $\pm$ 6.97	55.58 $\pm$ 11.66	0.375
Swing phase duration OL (%)	41.54 $\pm$ 6.97	42.11 $\pm$ 3.15	0.741
Double support duration OL (%)	9.47 $\pm$ 4.14	9.25 $\pm$ 2.81	0.845
Single support duration OL (%)	39.49 $\pm$ 5.57	40.61 $\pm$ 4.24	0.486
Steps analyzed OL	10.23 $\pm$ 1.21	10.45 $\pm$ 1.89	0.679
Gait cycle duration NOL (s)	1.54 $\pm$ 0.27	1.21 $\pm$ 0.21	< 0.001
Step length NOL (%)	59.67 $\pm$ 5.38	59.08 $\pm$ 3.85	0.689
Support phase duration NOL (%)	40.31 $\pm$ 5.37	40.91 $\pm$ 3.85	0.686
Swing phase duration NOL (%)	9.69 $\pm$ 3.62	8.25 $\pm$ 2.22	0.131
Double support duration NOL (%)	41.41 $\pm$ 7.42	41.53 $\pm$ 2.69	0.941
Single support duration NOL (%)	51.58 $\pm$ 4.08	51.15 $\pm$ 3.74	0.734
Steps analyzed NOL	10.11 $\pm$ 1.28	10.59 $\pm$ 1.84	0.371

OL operated limb, NOL non-operated limb

*Student's *t*-test

research hypothesis. We observed post-operative increase in gait velocity and cadence values; a reduced gait cycle duration in the operated limb, in comparison with the pre-operative value.

Symptomatic pes planovalgus is a common reason for orthopedic consultations, with various techniques for surgical treatment for this deformity reported in the literature [1–24]. Treatment methods include expandable sinus tarsi implants (subtalar arthroereisis), calcaneal stop screws, bone grafts, tendon lengthening, tendon transfer, talar or calcaneal osteotomy, and arthrodesis (permanent stiffening of the joint) [1–24]. Osteotomies and arthrodesis are used in adolescents and adults; they involve significant intervention and are irreversible. Removable implants inserted to block the sinus tarsi or implants inserted into the calcaneal bone (subtalar arthroereisis) are minimally invasive, but they may be displaced, which causes pain and the need for re-operation.

The lack of adequate tension of soft tissues and greater laxity of ligaments and muscles may result in an incorrect spatial configuration of the foot and the development of symptomatic pes planovalgus in children. The deformity referred to as pes planovalgus encompasses forefoot supination and abduction resulting from excessive subtalar joint eversion, hindfoot varus, a flattened longitudinal arch, and Achilles tendon and calf muscle contracture, with all of these pathologies potentially negatively affecting gait biomechanics [7, 12–15, 17, 18]. Anthropometric dynamic, isokinetic, and kinematic measurements help precisely differentiate between a normal foot and a flat foot [7]. Analysis of biomechanical and gait parameters is an important component of evaluating the outcomes of foot deformity correction [2, 7, 11, 12, 14, 18–20, 22, 27–31].

Unlike other implants designed for surgical correction of pes planovalgus, the Spherus screw is to be inserted into the talus. The advantage of this screw placement is the support for the screw base and its large area of contact with the floor and walls of the sinus tarsi. The Spherus screw stabilizes the talus by distributing the weight of the body onto a larger area, at the same time reducing the risk of screw migration into the talus and its penetration into the calcaneus. In light of the lack of available reports on the outcomes of inserting talar screws, such as the Spherus screw, from the direction of the sinus tarsi in the treatment of symptomatic pes planovalgus, we decided to address this subject with our study.

Martinelli et al. posited that since pes planovalgus is associated with abnormal kinetics and kinematics in comparison with those in normal feet, it is important to assess kinematic parameters after arthroereisis [13]. The gait of patients with pes planovalgus is characterized by the following abnormalities: a plantar-flexed ankle during foot landing, increased foot dorsiflexion during terminal stance, foot eversion throughout the stance phase, early activation of the peroneus longus and the gastrosoleus complex during heel strike [7]. These pathologies in patients with pes planovalgus reduce push-off force and load absorption ability [7]. Dynamic analysis of biomechanical parameters showed that arthroereisis may change foot function within several months after operation [11, 12, 18]. Hagen et al. evaluated static and gait parameters in 7 patients 3–28 days after arthroereisis with calcaneal screw implantation [11]. During bipedal stance, the plantar force increased in lateral areas and decreased in medial areas of the foot [11]. Those authors also observed a lateral shift in the center of gravity and a lateral shift in the contact area [11]. Franz et al. reported a load shift from the medial

to the lateral mid- and forefoot after arthroereisis [12]. Six months after arthroereisis, there was a reduced forefoot load and a hindfoot overload, in comparison with the healthy controls [12]. Vogt et al. assessed pedobarographic gait parameters in patients after arthroereisis with expandable sinus tarsi implants or calcaneus stop screws [19]. Those authors reported a post-operative reduction in the medial midfoot contact area, arch index, and medial forefoot peak pressure [19]. In a systematic review Smith et al. reported improved kinematic and pedobarographic parameters following arthroereisis procedures [20]. Vescio et al. in their systematic review stated that some authors observed an improved post-operative ground-reaction-force in the form of increased ground-force in the lateral areas of the foot, in comparison with pre-operative data. However, other authors noted no differences in the post-operative ground-reaction-force in comparison with the pre-operative data [22]. In comparison with osteotomy and arthrodesis, arthroereisis requires a shorter immobilization period and a shorter period of reduced weight-bearing, which may result in less range-of-motion limitation and better gait parameters [2]. Arthroereisis increases the foot range of motion, reduces ankle-foot pronation during gait, increases foot stability in single leg stance, and normalizes the load absorption capacity [18]. All of these aspects of post-operative lower limb biomechanics analysis after pes planovalgus correction were performed with various measuring devices. Therefore a strict comparison of the results is not possible.

Gieysztor et al. assessed the gain of healthy children with the use of a G-Sensor [27]. The support phase duration, swing phase duration, double support duration, single support duration, cadence, and velocity reported by Gieysztor [27] were comparable with the respective values measured in our study. This indicates normalization of gait parameters following the use of the Spherus screw in pes planovalgus treatment. Gait during normal child development should be symmetrical for normal skeletal biomechanics [27, 29–31]. In our study, most gait parameters, except for step length, were symmetrical post-operatively, which suggests good treatment outcomes.

Our study results show improvement in the assessed gait parameters, which may indicate normalized foot anatomy, increased range of motion, and reduced pain following pes planovalgus treatment with the talus screw. The group of patients evaluated in our study showed post-operative increase in gait velocity and cadence values, in comparison with the respective pre-operative values. We observed a reduced gait cycle duration in the operated limb, in comparison with the pre-operative value. These results indicate a positive effect of treatment on lower limb biomechanics.

Following treatment with the talus screw, post-operative full weight-bearing was allowed from the first post-operative day. However, some other surgical techniques are associated

with 2–8 weeks of reduced weight-bearing and 2–8 weeks of immobilization in a cast [3, 5, 13–15]. We believe that the lack of cast immobilization and the possibility of walking with full weight-bearing from the first day after surgery with the talus screw also have a positive effect on gait parameters.

Some authors performed other procedures within the foot and ankle joint in addition to arthroereisis [1–3, 8, 10, 12, 14, 15, 18, 19]. The most common procedure, performed in 17%–100% of patients, was Achilles tendon and gastrocnemius lengthening [1–3, 5, 10, 12, 14, 15, 18, 19]. Achilles tendon and gastrocnemius muscle contracture often accompany flexible flatfoot. We believe that the presence of Achilles tendon contracture, requires tendon lengthening. In our study, 33% of patients underwent Achilles tendon lengthening due to tendon contracture. Literature reports indicate that the use of a concomitant surgical procedure has no effect on radiographic or clinical outcomes following subtalar arthroereisis [15, 16].

The purpose of pes planovalgus treatment is to improve gait as well as clinical and functional parameters. In our study, we observed post-operative improvement in gait parameters after talus screw placement, which indicates good treatment outcomes.

One limitation of our study was the relatively small sample size, which is due to the fact that we aimed to perform a prospective gait assessment. Arthroereisis is not a very common procedure and, therefore, the number of patients is limited. Other authors also evaluated similar-sized groups of patients [1, 5, 8, 10, 15, 17]. Another limitation of our study is the relatively short follow-up; however, as evidenced by other studies, most patients have normal foot function 4 weeks after arthroereisis [11]. Moreover, some studies had a follow-up period duration comparable to that in our study [11, 15, 17, 19]. We did not assess the effects of the body mass index (BMI) or sex on gait parameters; however, few authors analyze these variables, and the available reports indicate no effect of either sex or BMI on gait parameters [25]. The strengths of our study include its prospective nature, while some earlier studies had been retrospective [1, 2, 5, 8, 13, 15, 17, 19], only two experienced orthopedic surgeons being involved in surgeries, the use of an objective and accurate measuring device (G-Sensor), and a uniform rehabilitation protocol for all patients. In the future, we are planning a study on the use of the talus screw in a larger group of patients and with a longer follow-up period for post-operative gait parameters.

In our research, we provided new findings on the detailed analysis of gait parameters after arthroereisis with the use of the talus screw. Like other authors [11, 19], we also believe that gait assessment ensures an objective, radiation-free method for dynamic evaluation of the outcomes following pes planovalgus surgery. The use of a G-Sensor offers a graphic record of gait parameter improvement following

pes planovalgus treatment, which makes it easier to present surgical treatment outcomes to the patients and their parents. Gait analysis is an important component of treatment outcomes for surgeons, rehabilitation specialists, and patients and their parents. The results of our study can be crucial in the decision-making process involved in qualifying patients with pes planovalgus for surgical treatment.

Conclusions

The use of a G-Sensor helps assess dynamic gait parameters and perform follow-up assessments following sinus tarsi implant insertion (subtalar arthroereisis).

Arthroereisis with the talus screw helps improve gait parameters following surgery.

Post-operatively, we observed increased gait velocity and cadence and decreased gait cycle duration in the operated limb.

Short-term biomechanical outcomes of pes planovalgus treatment with the talus screw are good.

Acknowledgements Sources of funding: Internal project of the Institute of Medical Sciences of the University of Opole P-2021-003

Data availability The data presented in this study are available on request from the corresponding author.

Declarations

Conflict of Interest There is no conflict of interest.

Ethical standard statement This article does not contain any studies with human or animal subjects performed by the any of the authors.

Informed consent For this type of study informed consent is not required.

References

- Jerosch, J., Schunck, J., & Abdel-Aziz, H. (2009). The stop screw technique—a simple and reliable method in treating flexible flatfoot in children. *Foot and Ankle Surgery*, 15(4), 174–178. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2009.01.004>.
- Kubo, H., Lipp, C., Hufeland, M., Ruppert, M., Westhoff, B., Krauspe, R., & Pilge, H. (2020). Outcome after subtalar screw arthroereisis in children with flexible flatfoot depends on time of treatment: Midterm results of 95 cases. *Journal of Orthopaedic Science*, 25(3), 497–502. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2019.06.007>.
- Leonchuk, S. S., Dyachkov, K., Neretin, A. S., Blanchard, A. J., & Popkov, D. (2020). Subtalar arthroereisis for treatment of children with flexible planovalgus foot deformity and analysis of CT data in long-term period. *Journal of Orthopaedics*, 8(22), 478–484. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2020.10.005>.
- Arbab, D., Frank, D., Bouillon, B., Lüding, C., Wingenfeld, C., & Abbata-Czardybon, M. (2018). Subtalar screw arthroereisis for the treatment of symptomatic. *Flexible Pes Planovalgus. Z Orthop Unfall*, 156(1), 93–99. <https://doi.org/10.1055/s-0043-120071>.
- Robin de Bot, T. A. L., Stevens, J., Hermus, J. P., Staal, H. M., van Rhijn, L. W., & Witlox, A. M. (2021). Clinical and radiological outcomes of subtalar Kalix II arthroereisis for a symptomatic pediatric flexible flatfoot. *Foot & Ankle Specialist*, 14(1), 9–18. <https://doi.org/10.1177/1938640019892062>.
- Bernasconi, A., Lintz, F., & Sadile, F. (2017). The role of arthroereisis of the subtalar joint for flatfoot in children and adults. *EFORT Open Reviews*, 2(11), 438–446. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.2.170009>.
- Faldini, C., Mazzotti, A., Panciera, A., Perna, F., Stefanini, N., & Giannini, S. (2018). Bioabsorbable implants for subtalar arthroereisis in pediatric flatfoot. *Musculoskeletal Surgery*, 102(1), 11–19. <https://doi.org/10.1007/s12306-017-0491-y>.
- Hong, J., Dai, G., Weng, Q., & Liu, Y. (2020). Interference screw for the treatment of pediatric flexible flatfoot. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 59(6), 1209–1214. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2020.04.016>.
- Elmarghany, M., El-Ghaffar, T. M. A., Elgeushy, A., Elzahed, E., Hasanin, Y., & Knörr, J. (2020). Is subtalar extra articular screw arthroereisis (SESA) reducing pain and restoring medial longitudinal arch in children with flexible flat foot? *Journal of Orthopaedics*, 20, 147–153. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2020.01.038>.
- Elbarbary, H. M., Arafa, A. S., Said, A. B. Z., Hegaz, M., Reiad, M. W., Basha, N. Y., & Fahmy, M. (2022). Clinical and radiological outcomes of subtalar arthroereisis for management of planovalgus foot in children with cerebral palsy: 3-year follow-up. *Foot & Ankle Specialist*, 15(6), 536–544. <https://doi.org/10.1177/1938640020980911>.
- Hagen, L., Pape, J. P., Kostakev, M., & Peterlein, C. D. (2020). Pedobarographic changes during first month after subtalar extra-articular screw arthroereisis (SESA) operation of juvenile flexible flatfoot. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 140(3), 313–320. <https://doi.org/10.1007/s00402-019-03230-7>.
- Franz, A., Herz, D., Raabe, J., Seeberger, U., & Bollmann, C. (2021). Pedobarographic outcome after subtalar screw arthroereisis in flexible juvenile flatfoot. *Foot and Ankle Surgery*, 27(4), 389–394. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2020.05.003>.
- Martinelli, N., Bianchi, A., Martinkevich, P., Sartorelli, E., Romeo, G., Bonifacini, C., & Malerba, F. (2018). Return to sport activities after subtalar arthroereisis for correction of pediatric flexible flatfoot. *Journal of Pediatric Orthopedics. Part B*, 27(1), 82–87. <https://doi.org/10.1097/BPB.0000000000000449>.
- Fernández de Retana, P., Alvarez, F., & Viladot, R. (2010). Subtalar arthroereisis in pediatric flatfoot reconstruction. *Foot and Ankle Clinics*, 15(2), 323–335. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2010.01.001>.
- Wang, S., Chen, Li., Jian, Yu., Zhang, C., Jia-Zhang Huang, Xu., & Wang, X. M. (2021). Mid-term results of subtalar arthroereisis with talar-fit implant in pediatric flexible flatfoot and identifying the effects of adjunctive procedures and risk factors for sinus tarsi pain. *Orthopaedic Surgery*, 13(1), 175–184. <https://doi.org/10.1111/os.12864>.
- Tan, J. H. I., Tan, S. H. S., Lim, A. K. S., & Hui, J. H. (2021). The outcomes of subtalar arthroereisis in pes planus: a systemic review and meta-analysis. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 141(5), 761–773. <https://doi.org/10.1007/s00402-020-03458-8>. Epub 2020 May 6. 8.
- Ruiz-Picazo, D., Jiménez-Ortega, P., Doñate-Pérez, F., Gaspar-Aparicio, N., García-Martín, V., Ramírez-Villaescusa, J., & Losa-Palacios, S. (2019). Radiographic and functional results following subtalar arthroereisis in pediatric flexible flatfoot. *Advances in*

- Orthopedics*, 1(2019), 5061934. <https://doi.org/10.1155/2019/5061934>
18. Memeo, A., Verdoni, F., Rossi, L., Ferrari, E., Panuccio, E., & Pedretti, L. (2019). Flexible juvenile flat foot surgical correction: A comparison between two techniques after ten years' experience. *Journal of Foot and Ankle Surgery*, 58(2), 203–207. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2018.07.013>
 19. Vogt, B., Toporowski, G., Gosheger, G., Rölfling, J. D., Rosenbaum, D., Schiedel, F., Laufer, A., Kleine-Koenig, M. T., Theil, C., Roedl, R., & Frommer, A. (2021). Subtalar arthroereisis for flexible flatfoot in children-clinical, radiographic and pedobarographic outcome comparing three different methods. *Children (Basel)*, 8(5), 359. <https://doi.org/10.3390/children8050359>
 20. Smith, C., Zaidi, R., Bhamra, J., Bridgens, A., Wek, C., & Kokkinakis, M. (2021). Subtalar arthroereisis for the treatment of the symptomatic paediatric flexible pes planus: A systematic review. *EFORT Open Rev.*, 6(2), 118–129. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.6.200076>
 21. De Pellegrin, M. (2005). Subtalar screw-arthroereisis for correction of flat foot in children. *Der Orthopäde*, 34(9), 941–953. <https://doi.org/10.1007/s00132-005-0835-4>. quiz 954.
 22. Vescio, A., Testa, G., Amico, M., Lizzio, C., Sapienza, M., Pavone, P., & Pavone, V. (2021). Arthroereisis in juvenile flexible flatfoot: Which device should we implant? A systematic review of literature published in the last 5 years. *World Journal of Orthopedics*, 12(6), 433–444. <https://doi.org/10.5312/wjo.v12.i6.433>
 23. Mattesi, L., Ancelin, D., & Severyns, M. P. (2021). Is subtalar arthroereisis a good procedure in adult-acquired flatfoot? A systematic review of the literature. *Orthopaedics & Traumatology, Surgery & Research*, 107(6), 103002. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2021.103002>
 24. Baryeh, K. W., Ismail, H., Sobti, A., & Harb, Z. (2022). Outcomes following the use of subtalar arthroereisis in the correction of adult acquired flatfoot: A systematic review. *Foot & Ankle Specialist*, 15(4), 384–393. <https://doi.org/10.1177/1938640020987775>
 25. Bobiński, A., Tomczyk, Ł., Reichert, P., & Morasiewicz, P. (2023). Short-term and medium-term radiological and clinical assessment of patients with symptomatic flexible flatfoot following subtalar arthroereisis with Spherus screw. *Journal of Clinical Medicine*, 12(15), 5038. <https://doi.org/10.3390/jcm12155038>
 26. Bobiński, A., Tomczyk, Ł., Pelc, M., Chruścicki, D. A., Śnietka, B., & Morasiewicz, P. (2023). Arthroereisis with a talar screw in symptomatic flexible flatfoot in children. *Journal of Clinical Medicine*, 12(23), 7475. <https://doi.org/10.3390/jcm12237475>
 27. Gieysztor, E., Kowal, M., & Paprocka-Borowicz, M. (2021). Gait parameters in healthy preschool and school children assessed using wireless inertial sensor. *Sensors (Basel)*, 21(19), 6423. <https://doi.org/10.3390/s21196423>
 28. Gieysztor, E., Kowal, M., & Paprocka-Borowicz, M. (2022). Primitive reflex factors influence walking gait in young children: An observational study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), 4070. <https://doi.org/10.3390/ijerph19074070>
 29. Gieysztor, E., Pecuch, A., Kowal, M., Borowicz, W., & Paprocka-Borowicz, M. (2020). Pelvic symmetry is influenced by asymmetrical tonic neck reflex during young children's gait. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), 4759. <https://doi.org/10.3390/ijerph17134759>
 30. Morasiewicz, P., & Dragan, S. F. (2013). Pedobarographic evaluation of body weight distribution on the lower limbs and balance after derotation corticotomies using the Ilizarov method. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 15(2), 91–96.
 31. Morasiewicz, P., Konieczny, G., Dejneka, M., Morasiewicz, L., Urbański, W., Kulej, M., Dragan, S. Ł., Dragan, S. F., & Pawlik, Ł. (2018). Pedobarographic analysis of body weight distribution on the lower limbs and balance after ankle arthrodesis with Ilizarov fixation and internal fixation. *Biomedical Engineering Online*, 17(1), 174. <https://doi.org/10.1186/s12938-018-0608-z>
 32. Blythe, S. G. (2014). INPP screening test for signs of neuromotor immaturity in adults. In S. G. Blythe (Ed.), *Neuromotor immaturity in children and adults* (pp. 83–110). Wiley.
 33. Del Din, S., Godfrey, A., & Rochester, L. (2016). Validation of an accelerometer to quantify a comprehensive battery of gait characteristics in healthy older adults and Parkinson's disease: Toward clinical and at home use. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 20, 838–847.
 34. Sankarpandi, S. K., Baldwin, A. J., Ray, J., & Mazzà, C. (2017). Reliability of inertial sensors in the assessment of patients with vestibular disorders: A feasibility study. *BMC Ear, Nose Throat Disord.*, 17, 1. <https://doi.org/10.1186/s12901-017-0034-z>

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Springer Nature or its licensor (e.g. a society or other partner) holds exclusive rights to this article under a publishing agreement with the author(s) or other rightsholder(s); author self-archiving of the accepted manuscript version of this article is solely governed by the terms of such publishing agreement and applicable law.